

ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS, NUTRICIONALES Y MICROSCÓPICAS DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.) PROCEDENTE DE CULTIVO ECOLÓGICO Y CONVENCIONAL, EN FRESCO Y TRAS LA OBTENCIÓN DE TRITURADOS, Y DE DIFERENTES DERIVADOS COMERCIALES DE TOMATE



LUIS EDUARDO ORDÓÑEZ SANTOS

TESIS DOCTORAL

2006



UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-
QUÍMICAS, NUTRICIONALES Y MICROSCÓPICAS DE TOMATE
(*Lycopersicon esculentum* Mill.) PROCEDENTE DE CULTIVO
ECOLÓGICO Y CONVENCIONAL, EN FRESCO Y TRAS LA
OBTENCIÓN DE TRITURADOS, Y DE DIFERENTES DERIVADOS
COMERCIALES DE TOMATE**

LUIS EDUARDO ORDÓÑEZ SANTOS

TESIS DOCTORAL

2006

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Fruto del tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.).....	4
Figura 2.	Espacio de color CIE _{L*a*b*} y RGB.....	11
Figura 3.	Diagrama de flujo de las operaciones de post-recolección en tomate para consumo en fresco.....	12
Figura 4.	Autoclave vertical.....	22
Figura 5.	Degradación de los carotenoides.....	24
Figura 6.	Logotipo de producto ecológico de la Unión Europea y del Consejo de Regulador Agricultura Ecológica de Galicia (España).....	34
Figura 7.	Tomate de la variedad Lladó, entero y seccionado longitudinalmente: (a) convencional y (b) ecológico.....	47
Figura 8.	Tomate de la variedad Antillas, entero y seccionado longitudinalmente: (a) convencional y (b) ecológico.....	48
Figura 9.	Tomate de la variedad Red Spring, entero y seccionado longitudinalmente: (a) convencional y (b) ecológico.....	48
Figura 10.	Tomate fresco comercial.....	49
Figura 11.	Conservas de tomate triturado.....	50
Figura 12.	Derivados de tomate de origen europeo.....	52
Figura 13.	Derivados de tomate de origen americano.....	52
Figura 14.	Sistema de generación de aire comprimido.....	54
Figura 15.	Cámaras frigoríficas.....	57
Figura 16.	Caldera.....	57
Figura 17.	Tanque de lavado.....	58
Figura 18.	Equipo corta hortalizas.....	58
Figura 19.	Escaldador.....	60
Figura 20.	Equipo de trituración.....	60
Figura 21.	Autoclave vertical.....	62
Figura 22.	Consistómetro de Bostwick.....	77
Figura 23.	Recta de calibración del ácido galacturónico.....	79
Figura 24.	Recta de calibración del HMF.....	81
Figura 25.	Recta de calibración del ácido gálico.....	84
Figura 26.	Recta de calibración del licopeno por espectrofotometría.....	86
Figura 27.	Espectros del patrón del licopeno (475 nm), β -caroteno (450 nm) y una muestra tomate fresco (475nm).....	90
Figura 28.	Cromatogramas del patrón de licopeno a 475 nm (a) y β -caroteno a 450 nm (b).....	90
Figura 29.	Cromatograma de una muestra de tomate fresco.....	91
Figura 30.	Recta de calibración del licopeno por HPLC.....	92
Figura 31.	Recta de calibración del β -caroteno.....	92
Figura 32.	Regresión lineal entre el contenido de licopeno (mg/100 g de materia fresca) medido por HPLC y por espectrofotometría.....	93
Figura 33.	Cromatogramas: (a) patrón de ácido ascórbico y (b) muestra de tomate triturado comercial (245 nm).....	96
Figura 34.	Recta de calibración del ácido ascórbico.....	96
Figura 35.	Cromatograma de los patrones de ácido oxálico, málico, cítrico y fumárico a 215 nm.....	99
Figura 36.	Cromatograma de una muestra de tomate a 215 nm.....	100
Figura 37.	Cromatograma del patrón del ácido ascórbico a 245 nm.....	100
Figura 38.	Cromatograma de una muestra de tomate a 245 nm.....	101
Figura 39.	Recta de calibración del ácido oxálico.....	102
Figura 40.	Recta de calibración del ácido málico.....	102
Figura 41.	Recta de calibración del ácido ascórbico.....	102
Figura 42.	Recta de calibración del ácido cítrico.....	103
Figura 43.	Recta de calibración del ácido fumárico.....	103

Figura 44.	Cromatograma del patrón de fructosa y glucosa (a) y cromatograma de una muestra de tomate liofilizado (b).....	106
Figura 45.	Recta de calibración de fructosa.....	107
Figura 46.	Recta de calibración de glucosa.....	107
Figura 47.	Secuencia del procesamiento de imágenes por el programa MicroImage 4.0 (Image Analysis Software, Olympus).....	113
Figura 48.	Sólidos solubles (°Brix) de los frutos de tomate analizados.....	123
Figura 49.	Figura 49. Acidez total (g de ácido cítrico/100 g de materia fresca) en los frutos de tomate analizados.....	124
Figura 50.	Valores de a* en los frutos de tomates analizados.....	126
Figura 51.	Concentración de sólidos totales (g/100 g de materia fresca) en los frutos de tomate analizados.....	127
Figura 52.	Concentración de fructosa (g/100 g de materia fresca) en los frutos de tomate analizados.....	129
Figura 53.	Concentración de de glucosa (g/100 g de materia fresca) en los frutos de tomate analizados.....	130
Figura 54.	Concentración de licopeno (mg/100 g de materia fresca) en los frutos de tomates evaluados.....	132
Figura 55.	Concentración de compuestos fenólicos totales (mg de ácido gálico/100 g de materia fresca) en los frutos de tomates evaluados.....	133
Figura 56.	Concentración de potasio (mg/100 g de materia fresca) en los frutos de tomates evaluados.....	135
Figura 57.	Concentración de ácido ascórbico (mg/100 g de materia fresca) en los frutos de tomates evaluados.....	137
Figura 58.	Piel de tomate de la variedad Lladó, azul de toluidina 2, 20x, luz polarizada: (a) convencional; (b) ecológico.....	141
Figura 59.	Piel de tomate de la variedad Red Spring, azul de toluidina 2, 20x, luz polarizada: (a) convencional; (b) ecológico.....	141
Figura 60.	Piel de tomate de la variedad Antillas, azul de toluidina 2, 20x, luz polarizada: (a) convencional; (b) ecológico.....	141
Figura 61.	Células de pulpa con licopeno de la variedad Lladó, azul de toluidina 1, 4x, luz polarizada: (a) convencional; (b) ecológico.....	142
Figura 62.	Células de pulpa con licopeno de la variedad Red Spring, azul de toluidina 2, 4x, luz polarizada: (a) convencional; (b) ecológico.....	142
Figura 63.	Células de la pulpa con licopeno de la variedad Antillas, azul de toluidina 1, 4x, luz polarizada: (a) convencional; (b) ecológico.....	142
Figura 64.	Núcleo de las células de pulpa de la variedad Lladó, picroíndigo, 20x, luz polarizada: (a) convencional; (b) ecológico.....	143
Figura 65.	Núcleo de las células de pulpa variedad red Spring, picroíndigo, 40x, luz polarizada: (a) convencional; (b) ecológico.....	143
Figura 66.	Núcleo de las células de pulpa de la variedad Antillas, picroíndigo, 20x, luz polarizada: (a) convencional; (b) ecológico.....	143
Figura 67.	Tejido fibrovascular de la variedad Lladó, 20x, luz polarizada: (a) convencional, lugol; (b) ecológico.....	144
Figura 68.	Tejido fibrovascular de la variedad Red Spring, azul de toluidina 2, 20x, luz polarizada: (a) convencional; (b) ecológico.....	144
Figura 69.	Tejido fibrovascular de la variedad Antillas, azul de toluidina 2, 20x, luz polarizada: (a) convencional; (b) ecológico.....	144
Figura 70.	Pelos de la semilla de la variedad Lladó 10x, luz polarizada: (a) convencional; (b) ecológico.....	145
Figura 71.	Pelos de la semilla de la variedad Red Spring, 10x, luz polarizada: (a) convencional; (b) ecológico.....	145
Figura 72.	Pelos de la semilla de la variedad Antillas, 10x, luz polarizada: (a) convencional; (b) ecológico.....	145
Figura 73.	Regresiones lineales de la concentración de licopeno (mg/100 g de materia fresca) y los parámetros de color CIE _{L*a*b*} L*, a*, a*/b* y H°.....	148

Figura 74.	Muestra de tomate triturado.....	150
Figura 75.	Variables (pH, Aw y acidez total) no afectadas por los factores considerados..	151
Figura 76.	Cubos de tomate durante la operación de escaldado.....	153
Figura 77.	Inactivación de la enzima PME en tomate a 70 y 80 °C.....	154
Figura 78.	Linealización de curva de calentamiento.....	154
Figura 79.	Diagrama de flujo del proceso de elaboración de tomate triturado.....	157
Figura 80.	pH de los triturados de tomate a lo largo del tiempo de almacenamiento.....	165
Figura 81.	Relación a^*/b^* de los triturados de tomate a lo largo del tiempo de almacenamiento.....	166
Figura 82.	HMF de los triturados de tomate a lo largo del tiempo de almacenamiento.....	167
Figura 83.	PPH de los triturados de tomate a lo largo del tiempo de almacenamiento.....	167
Figura 84.	TSP de los triturados de tomate a lo largo del tiempo de almacenamiento.....	168
Figura 85.	Compuestos fenólicos totales (mg de ácido gálico/100 g de materia fresca) de los triturados de tomate a lo largo del tiempo de almacenamiento.....	175
Figura 86.	Ácido oxálico de los triturados de tomate a lo largo del tiempo de almacenamiento.....	176
Figura 87.	Ácido málico de los triturados de tomate a lo largo del tiempo de almacenamiento.....	176
Figura 88.	Ácido ascórbico de los triturados de tomate a lo largo del tiempo de almacenamiento.....	177
Figura 89.	Concentración de HMF frente a la pérdida de ácido ascórbico y ácido málico en los triturados de tomate	178
Figura 90.	Ácido cítrico de los triturados de tomate a lo largo del tiempo de almacenamiento.....	178
Figura 91.	Ácido fumárico de los triturados de tomate a lo largo del tiempo de almacenamiento	179
Figura 92.	Diagramas de dispersión de las variables relacionadas con el primer componente principal.....	191
Figura 93.	Diagrama de dispersión de las variables relacionadas con el segundo componente principal.....	192
Figura 94.	Diagrama de dispersión de las variables relacionadas con el tercer componente principal.....	193
Figura 95.	Diagrama de dispersión de las variables relacionadas con el cuarto componente principal.....	193
Figura 96.	Dendrograma de la clasificación ascendente jerárquica realizada sobre CP1-CP5 (a) y representación de las observaciones sobre el primer plano factorial (b).....	194
Figura 97.	Dendrograma de la clasificación ascendente jerárquica realizada sobre las tres variables seleccionadas (a) y representación de las observaciones sobre el primer plano factorial.(b).....	196

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Principales productores mundiales de tomate en el año 2005.....	6
Tabla 2.	Composición del tomate maduro y de productos derivados por cada 100 g.....	20
Tabla 3.	Superficie destinada a agricultura ecológica (ha) por tipo de cultivo en Galicia en el año 2005.....	30
Tabla 4.	Resumen de estudios comparativos entre vegetales producidos ecológica y convencionalmente.....	36
Tabla 5.	Derivados de tomate comerciales.....	51
Tabla 6.	Coefficientes de variación del método y la medida en la determinación de total de sustancias pécticas.....	79
Tabla 7.	Coefficientes de variación del método y la medida en la determinación de HMF.....	82
Tabla 8.	Coefficientes de variación del método y la medida en la determinación de compuestos fenólicos totales.....	84
Tabla 9.	Coefficientes de variación del método y la medida en la determinación de licopeno por espectrofotometría.....	87
Tabla 10.	Coefficientes de variación del método y la medida en la determinación de licopeno y β -caroteno por HPLC.....	93
Tabla 11.	Coefficientes de variación del método y la medida en la determinación de ácido ascórbico.....	97
Tabla 12.	Coefficientes de variación del método y la medida en la determinación de azúcares.....	107
Tabla 13.	Análisis de varianza (ANOVA) en un diseño factorial de dos factores.....	115
Tabla 14.	Análisis de varianza (ANOVA) en un diseño unifactorial.....	116
Tabla 15.	Resultados de los parámetros físico-químicos en tomate fresco (media \pm desviación estándar) y del ANOVA de dos factores (cultivo y variedad).....	122
Tabla 16.	Relaciones entre azúcares y ácidos en los frutos de tomate evaluados.....	125
Tabla 17.	Análisis de varianza de un factor (variedad) y t-Student (cultivo).....	128
Tabla 18.	Resultados de los micronutrientes evaluados en los tomates frescos, expresados en mg/100 g de materia fresca (medias \pm desviación estándar) y del ANOVA de dos factores (cultivo y variedad)	131
Tabla 19.	Análisis de la varianza de un factor (variedad) y test t-Student (cultivo).....	135
Tabla 20.	Resultados de las variables físico-químicas evaluadas en siete variedades de tomate comerciales (media \pm desviación estándar) y del ANOVA de un factor.....	147
Tabla 21.	Coefficientes de regresión (R^2) entre el contenido de licopeno y las variables físico-químicas evaluadas en frutos de tomate entero.....	147
Tabla 22.	Factores analizados en el experimento factorial incompleto 2^{5-1}	150
Tabla 23.	Variables físico-químicas y visuales afectadas por los factores considerados.....	152
Tabla 24.	Estimación del tiempo de procesado térmico en tomate triturado.....	155
Tabla 25.	Balance de materia del proceso de elaboración del tomate triturado.....	158
Tabla 26.	Resultados microbiológicos en tomate triturado.....	158
Tabla 27.	Resultados de los parámetros físico-químicos evaluados en tomate fresco y tomate triturado almacenado durante 180 días y del ANOVA de un factor (tiempo de almacenamiento).....	160
Tabla 28.	Contenido de cenizas y azúcares reductores (g/100 g de materia fresca) en tomate fresco y tomate triturado almacenado durante 180 días y del ANOVA de un factor (tiempo de almacenamiento).....	162
Tabla 29.	Test t-Student entre variables físico-químicas analizadas en tomate fresco y triturado de tomate recién elaborado.....	163

Tabla 30.	Resultados de los micronutrientes evaluados en tomate fresco y tomate triturado, expresados en mg/100 g de materia fresca, almacenado durante 180 días y del ANOVA de un factor (tiempo de almacenamiento).....	170
Tabla 31.	Resultados de los elementos minerales en tomate fresco y tomate triturado, expresados en mg/100 g de materia fresca, almacenado durante 180 días y del ANOVA de un factor (tiempo de almacenamiento).....	171
Tabla 32.	Test t-Student entre las variables nutricionales analizadas en tomate fresco y triturado de tomate recién elaborado.....	172
Tabla 33.	Resultados de las variables fisico-químicas evaluadas en los productos de tomate de origen comercial y de los estadísticos descriptivos.....	182
Tabla 34.	Coefficientes de correlación lineal entre las variables.....	189
Tabla 35.	Resumen del análisis de componentes principales.....	190

Dra PILAR BERMEJO BARRERA, Catedrática de Universidad y Directora del Departamento de Química Analítica, Nutrición y Bromatología de la Universidad de Santiago de Compostela

INFORMA QUE:

LUIS EDUARDO ORDÓÑEZ SANTOS ha realizado en este Departamento, bajo la dirección de la Dra. M^a ÁNGELES ROMERO RODRÍGUEZ, la Dra. M^a LOURDES VÁZQUEZ ODÉRIZ y el Dr. ENRIQUE ARBONES MACIÑEIRA, el trabajo titulado “Estudio comparativo de las características físico-químicas, nutricionales y microscópicas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) procedente de cultivo ecológico y convencional, en fresco y tras la obtención de triturados, y de diferentes derivados comerciales de tomate” que presenta para optar al grado de Doctor en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Y para que conste, firma la presente en Santiago de Compostela en septiembre de 2006

Fdo. Dra. Pilar Bermejo Barrera

Dra. M^a ANGELES ROMERO RODRÍGUEZ Y Dra. M^a LOURDES VÁZQUEZ ODÉRIZ, Profesoras Titulares del Departamento de Química Analítica, Nutrición y Bromatología y **Dr. ENRIQUE ARBONES MACIÑEIRA**, Profesor Titular del Departamento de Ingeniería Agroforestal, de la Universidad de Santiago de Compostela

AUTORIZAN:

A **LUIS EDUARDO ORDÓÑEZ SANTOS** a la presentación de la memoria titulada “Estudio comparativo de las características físico-químicas, nutricionales y microscópicas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) procedente de cultivo ecológico y convencional, en fresco y tras la obtención de triturados, y de diferentes derivados comerciales de tomate”, realizada bajo su dirección en los laboratorios de Tecnología de los Alimentos, de Nutrición y Bromatología y en la nave de Industrias Agrarias y Alimentarias del Campus de Lugo, para optar al grado de Doctor en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Y para que conste, firmamos la presente en Lugo en septiembre de 2006

Fdo. Dra. M^a Ángeles
Romero Rodríguez

Fdo. Dra. M^a Lourdes
Vázquez Odériz

Fdo. Dr. Enrique
Arbones Maciñeira

Fdo. Luis Eduardo Ordóñez Santos

RESUMO

Tres variedades de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.): Rede Spring, Lladó e Antillas, cultivados en forma convencional e ecolóxica, analizáronse neste estudo co obxectivo de coñecer o efecto da variedade e tipo de cultivo sobre as propiedades fisicoquímicas, nutricionais e microscópicas.

A variedade inflúe significativamente nas variables de peso, calibre, sólidos solubles, frutosa, glicosa, acidez total, pH, Aw, sólidos totais, cinzas, L*, a*, b*, C*, licopeno, β -caroteno, compostos fenólicos totais, acedo oxálico, acedo málico, acedo ascórbico, acedo cítrico, acedo fumárico, K, Fe, Cu, Ca, Zn e Mn. O cultivo inflúe significativamente en sólidos totais, b*, a/b**, C*, H^o, glucosa, fructosa, Mn, acedo oxálico e acedo ascórbico. Os factores de estudo non inflúen nas características estruturais da pel, polpa e sementes nas mostras analizadas, salvo no contido de licopeno en función da variedade.

Por outra banda, realizouse un estudo de correlación entre a medida de licopeno por HPLC, os parámetros de cor CIE_{L*a b*} e a porcentaxe de área de vermello medido mediante microscopía óptica co fin de poder estimar a concentración deste pigmento en sete variedades de tomate de orixe comercial: Canario, Pitenza, Long life, Patroa, Caramba, Cherry e Antillas. Os axustes lineais obtidos neste estudo indican que se pode estimar o contido de licopeno nos froitos da variedade Canario, Patroa, Caramba, Cherry e Antillas utilizando os parámetros de cor CIE_{L*a b*}. Ademais atopouse que non é viable estimar este pigmento utilizando a técnica de microscopía óptica, salvo na variedade Canario.

Paralelamente, desenvolveuse e estableceuse unha liña de produción de triturado de tomate, elaborando neste estudo tres tipos de conserva ecolóxico-ecolóxico (EE), convencional-convencional (CC) e convencional-ecolóxico (CE) co obxectivo de establecer a influencia da materia prima e do tipo de elaboración, atopándose que as diferenzas nos tomates de partida (procedentes de cultivo ecolóxico e convencional) mantéñense, en xeral, trala elaboración dos triturados de tomate. Doutra banda o proceso de elaboración apenas afecta ás variables analizadas. Estas conservas foron almacenadas a 20±1.8 °C durante 180 días co propósito de avaliar a influencia do tempo de almacenamento nas súas propiedades fisicoquímicas e nutricionais, aínda que os produtos obtidos son estables no tempo, obsérvase que ao aumentar o tempo de almacenamento as variables de PPH, MIA, TSP, frutosa, glicosa, acedo málico, acedo ascórbico e acedo

cítrico diminúen, mentres que o β -caroteno, compostos fenólicos totais, acedo oxálico, acedo fumárico e HMF increméntanse.

Finalmente, neste estudo avaliáronse 18 variables fisicoquímicas relacionadas coa cor, a consistencia e o sabor en 25 mostras comerciais, (tomate triturado, puré, pasta, dobre e triplo concentrado de tomate), de diferentes países europeos e americanos, co propósito de reducir o número de variables fisicoquímicas utilizadas no seguimento do proceso de elaboración de produtos de tomate en industrias artesanais. A análise multivariante realizada indica que con tan só tres variables (sólidos solubles, L^* e TSP) é posible realizar o seguimento do proceso de elaboración dos derivados de tomate.

Palabras craves: Tomate, ecolóxico, convencional, microscopía, triturados, cor, consistencia, carotenoides, ácidos orgánicos, compostos fenólicos, elementos minerais.

RESUMEN

Tres variedades de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.): Red Spring, Lladó y Antillas, cultivados en forma convencional y ecológica, se han analizado en este estudio con el objetivo de conocer el efecto de la variedad y tipo de cultivo sobre las propiedades físico-químicas, nutricionales y microscópicas.

La variedad influye significativamente en las variables de peso, calibre, sólidos solubles, fructosa, glucosa, acidez total, pH, Aw, sólidos totales, cenizas, L*, a*, b*, C*, licopeno, β -caroteno, compuestos fenólicos totales, ácido oxálico, ácido málico, ácido ascórbico, ácido cítrico, ácido fumárico, K, Fe, Cu, Ca, Zn y Mn. El cultivo influye significativamente en sólidos totales, b*, a*/b*, C*, H°, glucosa, fructosa, Mn, ácido oxálico y ácido ascórbico. Los factores de estudio no influyen en las características estructurales de la piel, pulpa y semillas en las muestras analizadas, salvo en el contenido de licopeno en función de la variedad.

Por otra parte, se ha realizado un estudio de correlación entre la medida de licopeno por HPLC, los parámetros de color CIE_{L*a*b*} y el porcentaje de área de rojo medido mediante microscopia óptica con el fin de poder estimar la concentración de este pigmento en siete variedades de tomate de origen comercial: Canario, Pitenza, Long life, Patrona, Caramba, Cherry y Antillas. Los ajustes lineales obtenidos en este estudio indican que se puede estimar el contenido de licopeno en los frutos de la variedad Canario, Patrona, Caramba, Cherry y Antillas utilizando los parámetros de color CIE_{L*a*b*}. Además se encontró que no es viable estimar este pigmento utilizando la técnica de microscopia óptica, salvo en la variedad Canario.

Paralelamente, se ha desarrollado y establecido una línea de producción de triturado de tomate, elaborando en este estudio tres tipos de conserva ecológico-ecológico (EE), convencional-convencional (CC) y convencional-ecológico (CE) con el objetivo de establecer la influencia de la materia prima y del tipo de elaboración, encontrándose que las diferencias en los tomates de partida (procedentes de cultivo ecológico y convencional) se mantienen, en general, tras la elaboración de los triturados de tomate. Por otro lado el proceso de elaboración apenas afecta a las variables analizadas. Estas conservas han sido almacenadas a 20±1.8 °C durante 180 días con el propósito de evaluar la influencia del tiempo de almacenamiento en sus propiedades físico-químicas y nutricionales, aunque los productos obtenidos son estables en el tiempo, se observa que al aumentar el tiempo de almacenamiento las variables de PPH, MIA, TSP, fructosa, glucosa, ácido málico, ácido

ascórbico y ácido cítrico disminuyen, mientras que el β -caroteno, compuestos fenólicos totales, ácido oxálico, ácido fumárico e HMF se incrementan.

Finalmente, en este estudio se han evaluado 18 variables físico-químicas relacionadas con el color, la consistencia y el sabor en 25 muestras comerciales, (tomate triturado, puré, pasta, doble y triple concentrado de tomate), de diferentes países europeos y americanos, con el propósito de reducir el número de variables físico-químicas utilizadas en el seguimiento del proceso de elaboración de productos de tomate en industrias artesanales. El análisis multivariante realizado indica que con tan sólo tres variables (sólidos solubles, L* y TSP) es posible realizar el seguimiento del proceso de elaboración de los derivados de tomate.

Palabras claves: Tomate, ecológico, convencional, microscopía, triturados, color, consistencia, carotenoides, ácidos orgánicos, compuestos fenólicos, elementos minerales.

SUMMARY

Three tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars: Red Spring, Lladó y Antillas, harvested in conventional and organic conditions were analysed in this study, with the objective of finding the effects of the variety and kind of cultivation on the physical, chemical, nutritional and microscopic properties.

Cultivar significantly affected weight, size, soluble solids, fructose, glucose, total acidity, pH, Aw, total solids, ashes, L*, a*, b*, C*, lycopene, β -carotene, total phenolic compounds, oxalic acid, malic acid, ascorbic acid, citric acid, fumaric acid, K, Fe, Cu, Ca, Zn and Mn.

The kind of cultivation significantly affected total solids, b*, a*/b*, C*, H°, glucose, fructose, Mn, oxalic acid and ascorbic acid. The studied factors did not affect the skin, pulp and seed characteristics of the analysed samples, except lycopene content, affected by the variety.

On the other hand, a correlation analysis was carried out between lycopene measured by HPLC, CIE_{L*a*b*} colour parameters and red area percentage, measured by optical microscopy, with the aim of estimating pigment concentration in seven commercial varieties: Canario, Pitenza, Long life, Patrona, Caramba, Cherry and Antillas. The linear adjustments obtained in this study showed that CIE_{L*a*b*} colour parameters may be used for estimating fruits lycopene content in the Canario, Patrona, Caramba, Cherry and Antillas varieties. It was not possible to estimate this pigment concentration using optical microscopy, except in the cultivar Canario.

A crushed tomato production line was also developed, producing three kinds of products: organic-organic, conventional-conventional and conventional-organic. The aim was to establish the influence of the raw material and kind of process. The effect of the raw material (organic or conventionally cropped tomato) remained after processing. Production process did not affect significantly the studied variables. Sample products were kept at 20±1.8 °C over 180 days, with the aim of studying the effect of the storing period length on their physical, chemical and nutritional properties. Although the products were stable, WWP, AIS, TPS, fructose, glucose, malic acid, ascorbic acid and citric acid contents decreased, while β -carotene, total phenolic compounds, oxalic acid, fumaric acid and HMF contents increased.

Finally 18 physical and chemical variables related to colour, consistency and taste were evaluated on 25 samples of commercial tomato products (crushed tomato, tomato purée,

tomato paste and double and triple concentrates), coming from European and American countries. The aim was to obtain a small number of variables useful for monitoring tomato concentration processes of small cottage industries. Multidimensional analysis showed that it is possible to achieve this with only three variables (soluble solids, L* and TPS).

Key words: Tomato, organic, conventional, microscopy, crushed, colour, consistency, carotenoids, organic acids, phenolic compounds, minerals.

INTRODUCCIÓN

1.1. EL TOMATE

La clasificación taxonómica generalmente aceptada para este vegetal es descrita por **Esquinas y Nuez (1999)** y **ICBN (2000)**.

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: *Solanales*

Familia: *Solanaceae*

Subfamilia: *Solanoideae*

Tribu: *Solaneae*

Género: *Lycopersicon*

Especie: *esculentum*

La familia Solanaceae es utilizada, ya sea como cultivo industrial: tabaco (*Nicotina tabacum* L.), cultivo medicinal: belladona (*Atropa belladonna* L.), cultivo ornamental: petunia (*Petunia hybrida* Vilm) y cultivo hortícola, destacándose la patata (*Solanum tuberosum* L), el pimiento (*Capcicum annum* L.), la berenjena (*Solanum melongena* L.), el pepino dulce (*Solanum muricatum* Ait) y el tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* L.) (**Ochoa y Carravedo, 1999**).

Las formas cultivadas del tomate son diploides ($2x=2n=24$), autógamas, herbáceas y perennes. El tomate se clasifica comúnmente como un cultivo hortícola de ambientes cálidos, con una temperatura óptima de crecimiento de 21 a 23 °C. El crecimiento y el desarrollo de la planta se detiene a temperaturas inferiores a 10 °C (**Jones y col., 2001**).

El sistema caulinar es variable, presentándose básicamente dos tipos de planta relacionadas con el crecimiento: indeterminada y determinada. La planta indeterminada es la habitual y se caracteriza por tener un crecimiento extensivo, postrado, desordenado y sin límite. En ella, los tallos presentan segmentos uniformes con tres hojas (con yemas) y una inflorescencia, terminando siempre con un ápice vegetativo resultando una ramificación simpodial. En contraste, la planta determinada tiene tallos con segmentos que presentan progresivamente menos hojas por inflorescencia y terminan en un ápice reproductivo, lo que da lugar a un crecimiento compacto, más o menos erecto ordenado y limitado (**Ochoa y Carravedo, 1999; Jones y col., 2001**).

Los tallos son ligeramente angulosos, semileñosos, de aproximadamente 4 cm de grosor en la base, y tricomas simples y glandulares. Las hojas son de tamaño variable (10 a 50 cm), alternas, pecioladas, bipinatisectas (con folíolos a su vez divididos) y con numerosos tricomas simples y glandulares. En los tallos, usualmente cada tres hojas más o menos, se presentan flores agrupadas en una inflorescencia cimosa. Cada inflorescencia tiene de 7 a 12 flores, con partes masculinas y femeninas funcionales (**Ochoa y Carravedo, 1999; Jones y col., 2001**).

El fruto de tomate maduro es una baya con 2 a 12 estructuras locales constituido, básicamente, por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas (**Figura 1**). El tomate crece a partir de un ovario de 5 a 10 mg y alcanza, en la madurez, un peso de 5 a 500 g en función de la variedad y las condiciones de desarrollo. El primer periodo, de crecimiento lento, dura de 2 a 3 semanas y cuando termina el peso del fruto es inferior al 10% del peso final. El crecimiento en este periodo se produce, fundamentalmente, por división celular y, en mucho menor grado, por crecimiento de las células (**Chamorro, 1999; Jones, 1999**).

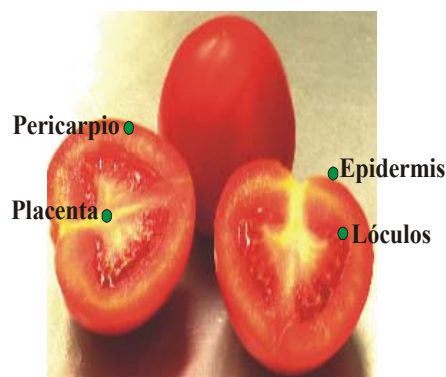


Figura 1. Fruto del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

El segundo periodo, de crecimiento rápido, dura 3-5 semanas y se prolonga hasta el inicio de la maduración. Hacia la mitad de este periodo, unos 20-25 días después de la antesis, la velocidad de crecimiento es máxima y al final del mismo, el fruto ha alcanzado prácticamente su máximo desarrollo. Durante esta etapa el crecimiento del fruto se produce por aumento del tamaño de las células preformadas, el tamaño de las vacuolas aumenta extraordinariamente y comienza a acumularse almidón, ácidos orgánicos y otros componentes que, posteriormente, darán lugar a las características típicas del fruto maduro (**Chamorro, 1999; Jones, 1999**).

Finalmente, hay un periodo de crecimiento lento, de aproximadamente 2 semanas, en el que el aumento en el peso del fruto es pequeño. En este periodo se da inicio a los

procesos de maduración que se caracterizan por el incremento de la respiración, típico en frutos climatéricos, además, se presenta la solubilización de la pared celular gracias a la acción de la poligalacturonasa y a la transformación de los cloroplastos a cromoplastos debido a la desaparición de la clorofila y a la acumulación del licopeno y del β -caroteno (**Chamorro, 1999; Jones, 1999**).

1.1.1. Origen del tomate

El tomate es nativo de la franja costera de la zona occidental de Suramérica en la latitud 30° respecto al meridiano del ecuador, zona que hoy comparten Colombia, Ecuador, Perú y Chile. La domesticación y el cultivo de este vegetal fuera de su centro de origen parece que tuvo lugar inicialmente en las primeras civilizaciones de México que lo sembraron junto al maíz. El nombre de tomate deriva del vocablo tomatl de la lengua Nahuatl, cuyo significado, correspondía a plantas con frutos globosos o bayas, con muchas semillas y pulpa acuosa. Llega a Europa a mediados del siglo XVI, tras el viaje que Hernán Cortés realiza a la ciudad de México en 1519. En España, Portugal e Italia se utilizó en la alimentación humana, contrariamente a países como Alemania y Francia que lo marginaron simplemente como especie ornamental al relacionarla con las solanáceas europeas, consideradas tóxicas por la presencia de sus alcaloides. España y Portugal se encargaron de difundir este fruto por el mundo a través de sus colonias de ultramar (**Esquinas y Nuez, 1999; Jones, 1999; Jones y col., 2001**).

1.1.2. Producción del tomate

Es el segundo vegetal más consumido en el mundo después de la patata con un consumo medio anual de 12 kg (**Lugasi y col., 2003**). En Estados Unidos el tomate es el cuarto vegetal consumido en fresco después de la patata, la lechuga y las cebollas (**Canene-Adams y col., 2005**). En Europa es el segundo vegetal más utilizado en la alimentación en todos los países, excepto en Italia, donde se ubica en el primer lugar debido al consumo en fresco y a la amplia oferta de productos procesados (**Caris-Veyrat y col., 2004**).

A nivel mundial China y Estados Unidos lideran la producción con el 25.37% y el 10.23% respectivamente, de una producción estimada en 124.75 millones de t en el año

2005. España es el séptimo productor con el 3.60% de la producción mundial (**Tabla 1**). En cuanto a las exportaciones de este vegetal en el año 2004 se estimó una cifra global de 3260.65 millones de euros, siendo España el principal exportador con el 21.87%, seguido por México con el 20.47%, Estados Unidos con el 5.24%, Italia con el 3.71% y Marruecos con el 1.35%. Las importaciones para este mismo periodo correspondieron a 3259.20 millones de euros, lideradas por Estados Unidos con el 25.54%, Alemania con el 17.88%, Reino Unido con el 12.95%, Francia con el 8.58% e Italia con el 1.91%. España tan solo importa el 0.56% de las importaciones globales (**FAOSTAT, 2006**).

Tabla 1. Principales productores mundiales de tomate en el año 2005

Productor	Producción (t)	Participación Mundial (%)
Mundo	124748292	100
China	31644040	25.37
Estados Unidos	12766000	10.23
Turquía	9700000	7.77
Italia	7814899	6.26
India	7600000	6.09
Egipto	7600000	6.09
España	4473573	3.60
Irán	4200000	3.37
Brasil	3303530	2.65
México	2148130	1.72

Fuente: **FAOSTAT (2006)**

La producción mundial de tomate con destino industrial era de 28.66 millones de t en el año 2005. La mayor parte la producción corresponde al hemisferio norte con el 85.92% del total, destacando Norteamérica y el área mediterránea de la Unión Europea (UE) por su mayor contribución a la producción mundial, 32.60 y 34.05%, respectivamente. En este conjunto el mayor productor es Estados Unidos con 8.30 millones de t seguido por Italia y España con 5.10 y 2.46 millones de t, respectivamente. (**López y col., 2006**).

En Europa el tomate aporta un 30% del valor de la producción del sector hortícola, contando con un rendimiento de 50 t/ha, destacándose dos zonas de producción, zona mediterránea, integrada por España, Italia, Grecia, Portugal y Francia, y que está orientada a suministrar materia prima para la industria, y la zona norte conformada por Holanda,

Francia, Bélgica, Reino Unido, Dinamarca y Alemania cuya producción está dirigida hacia el consumo en fresco (**Aldanondo, 1999**).

En España la producción de tomate se sitúa, principalmente, en Andalucía y Extremadura, ya que estas dos provincias aportan más del 50% de la producción nacional. En el año 2003, la producción de esta hortaliza se concentró principalmente en Andalucía con el 34.34%, Extremadura con el 32.59%, Murcia con el 8.87% y Canarias con el 6.47%. Galicia para este mismo año con 34300 t aportó solo el 0.87% de la producción global de España. La producción de tomate gallego es liderado por A Coruña con el 33.37%, seguido de Lugo con el 29.61%, Pontevedra con el 23.68% y Ourense con el 13.34% (**MAPA, 2006**).

1.1.3. Composición físico-química e importancia nutricional del tomate

La composición físico-química y nutricional del fruto de tomate puede estar afectada por diversos factores entre ellos: la variedad, la estación de siembra, los nutrientes disponibles en el suelo, la intensidad lumínica, la temperatura de exposición del cultivo, las técnicas de agricultura, la disponibilidad de agua, los reguladores de crecimiento y el grado de maduración, entre otros (**Abushita y col., 2000; Dumas y col., 2003**). Un 1% del fruto del tomate lo constituye la piel y las semillas. La materia seca oscila entre un 5 y un 10%, de la cual, un 50% lo constituyen los azúcares, (principalmente glucosa 22% y fructosa 25%), un 10% ácidos orgánicos (especialmente cítrico y málico), un 8% elementos minerales y el resto está constituido por sólidos insolubles en alcohol (pectina, celulosa y hemicelulosa), pigmentos, vitaminas y lípidos. (**Thakur y col., 1996; Hayes y col., 1998; Salles y col., 2003**).

El tomate presenta valores de pH comprendidos entre 4.15 y 4.80, una acidez total entre 0.13 y 0.48 g ácido cítrico/100 g de peso fresco, un contenido de sólidos totales de 5.2 a 6.88 g/100 g de peso fresco y valores de sólidos solubles de 3.08 a 6.39 °Brix (**Loiudice y col., 1995; Moraru y col., 2004; Barba y col., 2004**). Estas variables contribuyen fuertemente a definir las características sensoriales de los tomates y sus respectivos derivados (**Vecchio y col., 1984**).

La planta de tomate sintetiza diversos metabolitos secundarios de importancia en la alimentación humana, entre ellos, los compuestos carotenoides, el ácido ascórbico y las sustancias fenólicas. Este vegetal, por tanto, es fuente de licopeno, β -caroteno, folato,

potasio, vitamina C, vitamina E y compuestos fenólicos (**Willcox y col., 2003**). De acuerdo al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) 100 g de tomate maduro comestible poseen 2.57 mg de licopeno, 0.45 mg de β -caroteno, 0.015 mg de folatos totales, 237 mg de potasio, 12.7 mg de vitamina C y 0.54 mg de vitamina E (**USDA, 2005**).

Estudios epidemiológicos recientes indican que estos micronutrientes, están entre los componentes de la dieta que desempeñan un papel preventivo frente a varios tipos de cáncer, entre ellos el de próstata, tracto digestivo, mama, piel y las enfermedades cardiovasculares (**Abushita y col., 2000; Bramley, 2000; Lin y Chen, 2003 y Sahlin y col., 2004**). La efectividad de estos antioxidantes naturales en prevenir las enfermedades oncológicas, radica en la capacidad de neutralizar los radicales libres generados durante la demanda oxidativa de diferentes moléculas tales como lípidos, proteínas y ácidos nucleicos que se ven involucradas en las fases iniciales de ciertas enfermedades degenerativas (**Kaur y Kapoor, 2001 y García y col., 2004**). La capacidad antioxidante de la vitamina C, los carotenoides y los compuestos fenólicos, se debe a la presencia en sus estructuras de dobles enlaces ($C=C$) y grupos hidroxilos (OH) (**Kalt, 2005**).

El tomate constituye la segunda fuente de vitamina C en países como Italia con el promedio más alto de consumo de tomate en Europa (**Raffo y col., 2006**). En España el tomate y el puré de tomate constituyen la principal fuente de licopeno en la dieta aportando respectivamente el 42.00 y 71.60% de la ingesta recomendada y la segunda fuente de vitamina C y de β -caroteno, representando el 12.00 y 17.20% de la cantidad diaria recomendada (**O'Neill y col., 2001 y García-Closas y col., 2004**).

Los carotenoides constituyen un grupo importante de compuestos liposolubles, los cuales en su mayoría son responsables del color amarillo y rojo de las plantas y animales, debido a la presencia de un grupo cromóforo consistente en una larga cadena hidrocarbonada con dobles enlaces conjugados (**Pastur, 2001**). La función principal de los carotenoides en las plantas es la de proteger los tejidos frente a los procesos de fotooxidación (**Hooper, 1984**). Esta propiedad de los carotenoides, especialmente, β -caroteno, luteína y licopeno ha sido evaluada por **Viljanen y col. (2002)**. Los carotenoides son almacenados en los cloroplastos y cromoplastos donde se encuentran asociados a las membranas proteicas (**Kalt, 2005**).

Bramley (2002) indica que recientemente se ha identificado, además de la ruta del ácido mevalónico, la ruta del 1-deoxy-D-xylulose-5-fosfato (DOXP). Las dos rutas producen isopentenil difosfato (IPP), sustrato necesario para la producción del geranyl-geranyl-difosfato (GGPP) precursor del primer carotenoide (C40) conocido como fitoeno.

Dos enzimas, la fito desaturasa (PDS) y ζ -caroteno desaturasa (ZDS), catalizan la conversión del fitoeno a licopeno y éste sufre procesos de la ciclización que permiten la formación del β -caroteno.

El β -caroteno, es una de las más importantes fuentes de provitamina A, vitamina estrechamente relacionada con la reducción de la prevalencia de cataratas, degeneración muscular, protección de la piel y además participa de la elaboración de enzimas en el hígado y de hormonas sexuales y suprarrenales (**Lietz y Henry, 1997; Pérez, 2000; Kimura y Rodríguez-Amaya, 2003 y De Sa y Rodríguez-Amaya, 2003**).

El L-ácido ascórbico participa en diversos procesos fisiológicos en las plantas, que incluyen: procesos fotosintéticos, de fotoprotección, de crecimiento y expansión celular, de resistencia al estrés ambiental, de síntesis del etileno y de producción de giberelina, antocianinas e hidroxiprolinas (**Smirnoff y Wheeler, 2000**). Este ácido es importante en la alimentación al estar relacionado con la biosíntesis de los aminoácidos, en la formación de la adrenalina, en el mantenimiento del colágeno y en la desintoxicación del hígado (**Yahia y col., 2001**).

La ruta biosintética de esta molécula en las plantas aún no está claramente establecida. **Smirnoff (1996), Wheeler y col. (1998) y Smirnoff y Wheeler (2000)** han propuesto dos rutas en la biosíntesis del L-ácido ascórbico: una ruta por vía D-manosa / L-galactono-1.4-lactona donde esta última molécula requiere girar 180° la estructura de carbono y la segunda vía del D-glucosona / L-sorbose. Este antioxidante natural se encuentra localizado celularmente en el apoplasto, citosol, cloroplastos, mitocondrias y vacuolas (**Kalt, 2005**).

Los compuestos fenólicos forman parte del sistema de defensa de los vegetales. En la planta se sintetizan diferentes sustancias fenólicas (alcaloides, cianogénicos, glicósidos, terpenoides, flavonoides, antocianinas, saponinas y ácidos fenólicos) que les permiten hacer frente al ataque de microorganismos patógenos tales como bacterias, levaduras y mohos (**Ruelas y col., 2006**). Además les ayuda a protegerse de las radiaciones ultravioleta. Estos compuestos son derivados de fenilalanina y tirosina no están uniformemente distribuidos en los tejidos de la planta, los fenoles insolubles están en la pared celular y los solubles en la vacuola celular (**Naczki y Shahidi, 2004**).

En cuanto a los compuestos lipídicos en los frutos de tomate, éstos se encuentran en mayor proporción en las semillas registrando valores del 27.10% del peso de las mismas. De este porcentaje el 81.34% corresponden al ácido oleico y el 12.28% es ácido palmítico, mientras que en el fruto libre de semillas el contenido de lípidos corresponde al 0.11%

(Purcell y col., 1969 y Al-Wandawi y col., 1985).

Este fruto además posee glicoalcaloides, compuestos potencialmente tóxicos, tales como tomatina y solanina. El primero es el alcaloide comúnmente encontrado en los frutos inmaduros, con una concentración 48.00-0.40 mg/kg de peso fresco, que se ve reducida durante la maduración del fruto, el almacenamiento y el procesamiento al hidrolizarse este alcaloide debido a la acidez natural de los productos. La solanina se encuentra en concentraciones reducidas que no implican un riesgo para la salud **(Thakur y col., 1996 y Friedman, 2002).**

Los más importantes parámetros indicadores de la calidad del tomate son: el color, la firmeza, el sabor y el olor **(Edan y col., 1997 y Baldwin y col., 2004)**. El color se debe a la presencia de los carotenoides, especialmente, el licopeno que es el más abundante de estos pigmentos, aproximadamente un 83% del contenido total, y el β -caroteno, el cual está presente en un 10% **(Bizri y Wahem, 1994).**

La firmeza en los tomates está relacionada con el nivel de los polímeros de carbohidratos presentes en el fruto, especialmente, pectina, celulosa y hemicelulosa **(Xu y col., 1986)**. 100 g de sólidos totales de tomate contienen por término medio 7 g de sustancias pécticas, 6 g de celulosa y 4 g de hemicelulosa **(Barrett y col., 1998).**

En el sabor de los tomates está implicada la concentración de glucosa y fructosa y la de los ácidos cítrico y málico **(Abegaz y col., 2004).**

Aproximadamente 400 compuestos volátiles se han identificado en el tomate fresco **(Min y Zhang, 2003)** y sólo 20 de ellos son responsables del aroma característico del tomate, entre ellos 2-+3-methylbutanol, (E)-2-hexenal, 6-metil-5-hepten-2-one, hexanal, 1-penten-3-one y (Z)-3-hexenal **(Buttery y col., 1997 y Abegaz y col., 2004).**

Debido al importante papel que juega el color en la calidad del fruto de tomate, varias técnicas analíticas se han desarrollado en los últimos años para evaluar tan importante parámetro de calidad. Diversas técnicas se basan en la extracción y cuantificación del licopeno, por espectrofotometría **(Rao y col., 1998; Barrett y Anthon, 2001; George y col., 2004 y García y Barrett, 2006)** y por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) **(Khachik y col., 1992; Hart y Scott, 1995; Rao y col., 1998 y Leonardi y col., 2000).**

Igualmente, el color puede evaluarse colorimétricamente, utilizando el sistema $CIE_{L^*a^*b^*}$, estándar internacional desarrollado por la Comisión Internationale de l'Eclairage (CIE) en 1976. En este sistema los valores de L^* , a^* y b^* **(Figura 2a)**, describen un espacio de color tridimensional y uniforme; donde L^* es el eje vertical y

define el brillo con los rangos de 0 (negro) a 100 (blanco), mientras que el eje horizontal a^* indica colores rojo-verde y el b^* representa colores azul-amarillo, estos componentes cromáticos están en el rango de -120 a 120 (Madrid y col., 1998 y Yam y Papadakis, 2004). Autores como Hobson y col. (1983), Dixon y Hobson. (1984) y Hetherington y MacDougall (1992) han aplicado este sistema en la evaluación del color en los frutos de tomate.

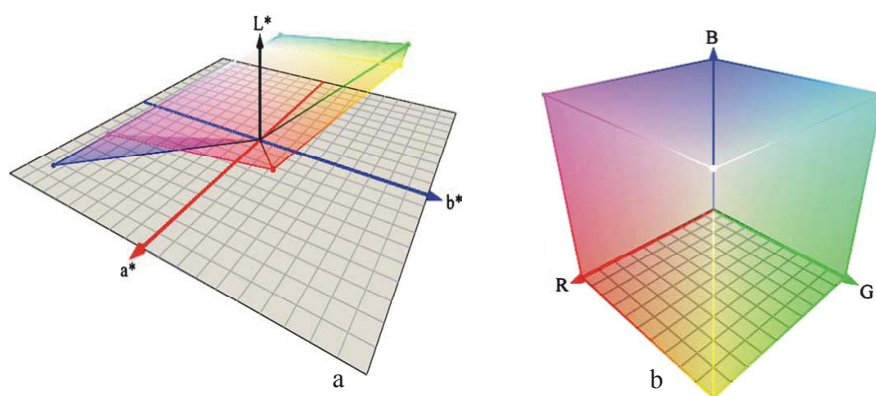


Figura 2. Espacio de color $CIE_{L^*a^*b^*}$ y RGB (Du y Sun, 2005)

En los últimos años ha tomado gran importancia las técnicas de procesado de imágenes digitales como herramienta para la evaluación del color en los alimentos, es así que han sido aplicada con el fin de detectar problemas en las operaciones de elaboración de snack (Yu y MacGregor, 2003). Para clasificar el hongo shiitake por tamaño forma y color (Chen y Ting 2004), o para la detección de defectos en la superficie de frutos de mango, tomate, mandarina, pepino, manzana, banana, granadilla (Mery y Pedreschi, 2005).

Sun y Brosnan (2003a, 2003b) han utilizado esta técnica para clasificar pizzas de acuerdo al grado de calidad. Fernández y col. (2005) y Martynenko (2006) han analizado imágenes digitales para conocer el efecto de la deshidratación en la textura, el color y la forma de manzanas y raíces de ginseng, respectivamente.

Pruski (2006) propone un método de análisis de imágenes para evaluar la formación de compuestos pardos después de la cocción de la patata comparándolo con el análisis sensorial y una técnica de HPLC.

Generalmente en estos trabajos las imágenes han sido capturadas y almacenadas en el modelo de color tridimensional RGB (rojo-verde-azul) (Figura 2b). La clasificación y el análisis de las mismas se realizan ya sea por el sistema $CIE_{L^*a^*b^*}$, o HSI (tono, saturación e

intensidad) modelos de color que simulan la percepción del color por parte del ojo humano.

1.1.4. Tratamientos postcosecha del tomate

Los tratamientos de post-recolección constan de diversas operaciones de acondicionamiento, que tienen como objetivo conservar la calidad organoléptica y nutricional de los productos agrícolas. En la **Figura 3** se describe cada una de las etapas requeridas en el proceso de postcosecha del tomate con destino a consumo en fresco descritas por **Riquelme (1999)**.

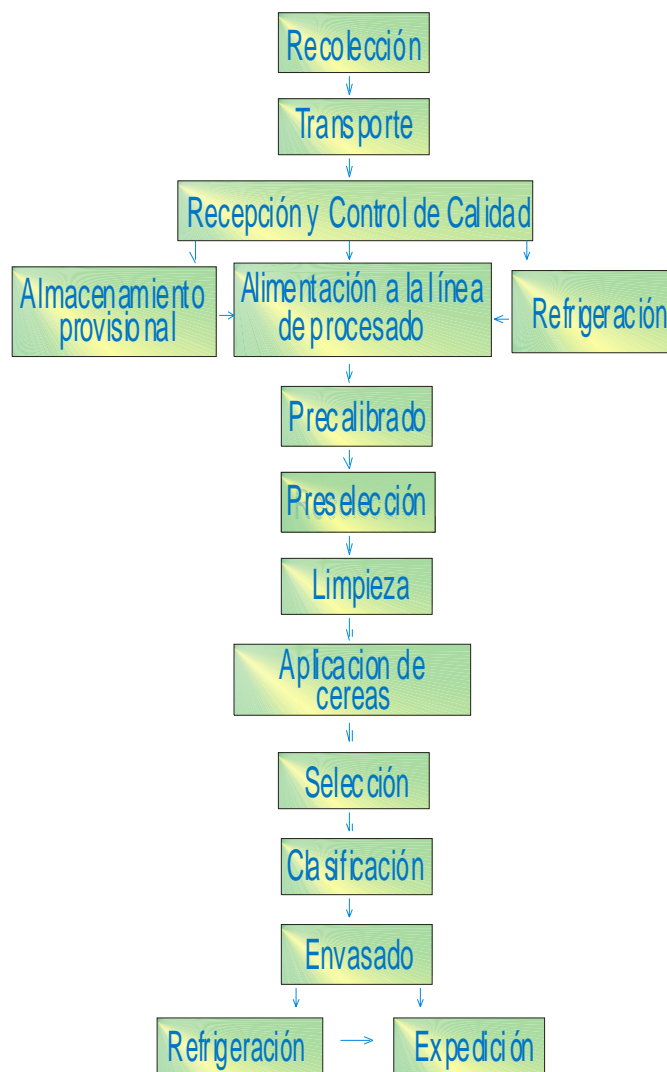


Figura 3. Diagrama de flujo de las operaciones de post-recolección en tomate para consumo en fresco (Riquelme, 1999)

Finalizado el proceso de lavado se aplican ceras sobre la epidermis, para proporcionar brillo al producto. Normalmente, se utiliza cera de abeja disuelta en aceite vegetal, junto con un antioxidante de grado alimentario. La aplicación se realiza en caliente, mediante un dispositivo que adiciona la cera gota a gota y unos cepillos que la distribuyen. Los frutos ya encerados se trasladan a una etapa de selección manual donde los operarios eliminan aquellos deformes o que superan cierto grado de madurez. Los tomates que superan esta selección pasan a la zona de clasificación donde se realiza la separación por grupos en función del tamaño y el peso.

Los tomates ya clasificados por las diferentes categorías son conducidos directamente a la mesa de envasado. Esta operación puede realizarse manual o mecánicamente dependiendo del volumen. Los envases pueden estar fabricados con materiales muy diversos tales como madera, cartón y diferentes tipos de plásticos. Los tomates ya envasados se almacenan normalmente a temperaturas de entre 5 y 12 °C y un 90% de humedad relativa o si no se expiden inmediatamente (**Riquelme, 1999**).

La post-recolección en el cultivo de tomate para industria es el periodo comprendido entre el momento en que el fruto es recolectado y su entrada en la línea de fabricación de la industria para ser sometido a la transformación industrial. Existen dos etapas principales en el suministro de tomate para la industria:

- carga y transporte a granel: En el transporte a granel los frutos son cargados en el campo en contenedores de hierro o plástico con capacidades que van desde 6 a 20 t.
- descarga y almacenamiento en fábrica: Se utiliza el agua como mecanismo de descarga de los contenedores, los frutos caen a unos canales de agua que disponen al final de un elevador formado por una banda transportadora de rodillos, que saca los frutos del agua y, por medio de conducciones hidráulicas, los frutos pasan a las piscinas de almacenamiento donde esperan el momento para su transporte a la línea de fabricación (**Rodríguez, 1999**).

1.1.5. Reglamentación del tomate destinado para consumo en fresco

La Unión Europea mediante el **Reglamento (CE) 790/2000** ha establecido los criterios de calidad que deben cumplir los tomates destinados al mercado en fresco. Este Reglamento está orientado principalmente a los siguientes aspectos:

- Eliminar del mercado los productos de calidad insatisfactoria, orientar la producción a las exigencias de los consumidores y facilitar las relaciones comerciales en un marco de competencia leal.
- La norma ha de aplicarse en todas las fases de la comercialización.

Igualmente, el Reglamento define el producto, establece los requisitos de calidad que deben cumplir los tomates tras su acondicionamiento y envasado, fija las disposiciones relativas de calibrado, establece las tolerancias de calidad permitidas para este tipo de producto y fija las disposiciones relativas a la presentación y el mercado. Este Reglamento ha sido objeto de modificación a través del **Reglamento (CE) 717/2001**

A nivel español este tipo de producto está regulado por las **Norma UNE-34009/1957 y la Norma de calidad para tomate fresco (1986)**. En estas dos Normas se recogen las características mínimas de calidad, la clasificación, el calibrado, las tolerancias, el etiquetado y la rotulación del tomate con destino al mercado en fresco en territorio español.

1.2. DERIVADOS DE TOMATE

1.2.1. Definición y clasificación de los productos de tomate

El tomate triturado es un derivado que no ha sido sometido a procesos de concentración y que aún conserva los sólidos solubles naturales iniciales aportados por el fruto del tomate. En la legislación Española la **Norma de Calidad para las Conservas Vegetales (1984)** define al tomate triturado como:

“el fruto del tomate, pelado o no, que ha sido sometido a un proceso de trituración”

El tomate triturado no dispone de una norma puntual que oriente sobre las especificaciones mínimas que debe cumplir tal producto, solo existen en la citada Norma de Calidad, parámetros generales que debe cumplir este tipo de conserva.

- Categorías comerciales denominadas extra, primera y segunda en función al color, olor y sabor.
- Las elaboraciones de tomate triturado, tendrán como mínimo un residuo óptico de 4 °Brix.
- En productos, en que la esterilización térmica no se realice en autoclave o por procesos que garanticen los mismos resultados, el pH no deberá ser superior a 4.6.

El tomate triturado, al ser conserva vegetal, están regulado por el **Real Decreto 2420/1978**, Reglamentación Técnico-Sanitaria (RTS) para la elaboración y venta de conservas vegetales. Igualmente este producto está sujeto a las indicaciones del **Código Alimentario Español (1967)**, al **Reglamento (CE) 1764/1986** y al **Codex Alimentarius (1969)**, revisado en el 2003. En este último documento se sigue la cadena alimentaria desde la producción primaria hasta el consumidor final y se establecen las condiciones de higiene necesarias para la producción de alimentos inocuos y aptos para el consumo. Además se recomienda la aplicación de criterios basados en el sistema de Análisis de Peligros y de los Puntos Críticos de Control (APPCC) para elevar el nivel de inocuidad alimentaria.

Las normas **CODEX-STAN 57-1981; USDA, 1978; USDA 1977; Reglamento (CE) 1764/1986; Norma UNE 34019/1975 y Código Alimentario Español 1967**, en términos generales, además de definir los tipos de derivados de tomate y clasificarlos según el contenido en sólidos totales o sólidos solubles, recogen cuales son los criterios de calidad (color, textura, sabor, defectos), la concentración de sal, los aditivos permitidos, el pH y la acidez, además del etiquetado, entre otras especificaciones.

El CODEX-STAN 57-1981 define a los concentrados de tomate como “los productos preparados mediante la concentración del líquido obtenido de tomates rojos convenientemente sanos y maduros (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Dicho líquido se filtra o se somete a otras operaciones para eliminar del producto terminado pieles, semillas y otras sustancias secundarias o duras”. Esta Norma clasifica los concentrados de tomate en función del contenido en sólidos naturales en dos tipos:

- Puré de tomate: Concentrado de tomate que contenga no menos de 8%, pero menos de 24% de sólidos solubles naturales del tomate.
- Pasta de tomate: Concentrado de tomate que contenga 24%, o más, de sólidos solubles naturales del tomate.

La **Norma UNE 34019/1975**, define a las conservas de concentrado de tomate como “los productos obtenidos a partir de frutos sanos, limpios y maduros de la planta *Lycopersicon esculentum* Mill, que han sido triturados, tamizados y posteriormente es concentrada la fase líquida”.

El **Código Alimentario Español (1967)** indica que son productos obtenidos del fruto de tomate triturado, pasado por tamiz y convenientemente concentrado. Además clasifica los concentrados de tomate a partir de los sólidos totales, deduciendo el cloruro de sodio en los siguientes productos:

- | | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| • Puré de tomate | 7 al 12% de sólidos totales |
| • Pasta de tomate | 12 al 18% de sólidos totales |
| • Concentrado simple de tomate | 18 al 28 % de sólidos totales |
| • Concentrado doble de tomate | 28 al 30% de sólidos totales |
| • Concentrado triple de tomate | Más del 30% de sólidos totales |

La **USDA, 1978** y la **USDA, 1977**, clasifican el puré y la pasta de tomate según el grado de concentración en:

- Puré de tomate: Concentrado de tomate que contiene no menos del 8%, pero menos de 24 % de sólidos solubles naturales del tomate. Además, define cuatro subtipos (ligero, medio, alto y muy alto) dentro de este intervalos
- Pasta de tomate: Concentrado de tomate que contiene 24% o más de sólidos solubles naturales del tomate. Igualmente clasifica este producto en diferentes tipos en función de la concentración (ligero, medio, alto y muy alto).

Además de la conserva de tomate triturado y los concentrados de tomate, a partir de este vegetal, se elaboran otras conservas tales como tomate entero pelado, tomate en cubos, salsas y zumos, entre otros (**Barrett y col., 1998**).

1.2.2. Producción de derivados de tomate

Rao y col. (1998) y **Anese y col. (2003)** indican que más del 80% del tomate se consume como producto procesado. A nivel mundial la producción de derivados de tomate es liderado por la pasta de tomate y el tomate entero pelado. En el año 2004, las exportaciones a nivel mundial de pasta de tomate alcanzaron la cifra de 1273.86 millones de euros, seguidas por el tomate entero pelado con 532.67 millones de euros. En las importaciones, la pasta de tomate es el producto líder con 1196.80 millones de euros, seguida de la conserva de tomate pelado con 535.24 millones de euros (**FAOSTAT, 2006**). En este mismo año Europa presenta un 14.29% de las exportaciones mundiales de tomate entero pelado y un 24.89% de las exportaciones de pasta de tomate. En las importaciones, el viejo continente es el mayor consumidor de tomate pelado del mundo y en la pasta de tomate. La **USDA (2004)** indica que Italia y España, ocupan un lugar destacado en la producción de derivados de tomate (2.35 y 0.49 millones de t, respectivamente), seguidos de Portugal (0.165 millones t) y Chile (0.116 millones de t).

La estructura de la industria a nivel mundial muestra patrones heterogéneos, en cuanto a escala. En California se encuentran las firmas de mayor dimensión, mientras que en el extremo opuesto está Italia donde predominan las pequeñas y medianas empresas (al

igual que en otros países de la Unión Europea). En América Latina, Argentina se asemeja a la estructura italiana, mientras que en Chile el perfil de la industria sigue más los patrones de California (**Ghezan, 1999**).

Estados Unidos concentra la producción de tomate industrial en cinco estados California, Michigan, Pensilvania, Ohio e Indiana. California contribuye aproximadamente con el 96% de producción estadounidense, ya que posee más de 200 variedades de tomate, casi todas híbridos. En este estado existen 31 procesadores que operan 34 plantas localizadas a través del valle central de California. En dichas plantas se elaboran productos de tomate deshidratados, pasta, puré, zumo, tomate pelado, tomate en cubos, ketchup, salsas, entre otros (**WPTC, 2004**). En este país el 35% del tomate fresco es procesado en salsas, el 18% en pasta de tomate, el 17% en conservas de tomate, (tomate entero pelado, en cubos o triturado), el 15% en zumo y el 15% en ketchup (**Canene-Adams y col., 2005**).

En el caso de Italia, el cultivo de tomate industrial, está centrado en tres regiones las cuales controlan casi el 90% de la producción; Puglia con más del 50%, Emilia-Romagna con un 30% y Campania con aproximadamente 8%, destacándose ciudades tales como Foggia, Bari, Brindisi, Parma y Piacenza. El 40% de tomates son procesados por fábricas de tipo cooperativo y el 60% por compañías privadas, en ellas se elaboran pasta de tomate, puré de tomate, conservas de tomate, salsas y ketchup (**AMITOM, 2004**).

España, en el periodo 2002-2005, ha procesado una media anual de 2.1 millones de t de tomate, el 70% es procesado en pasta de tomate, seguido por la conserva de tomate entero pelado con el 10% y aproximadamente el 20% en otros productos: tomate triturado, tomate frito, tomate pelado troceado, salsas, ketchup, puré, cubos congelados y tomate deshidratado (**TomatoNews, 2006**). La producción de tomate entero pelado, triturado o en cubos es controlado por Cooperativas con el 55% del total de la producción, mientras que la elaboración de pasta de tomate, doble y triple concentrado de tomate es liderada por más de 90 firmas privadas con el 95% de la producción. Durante la estación de cosecha generalmente diversifican su producción mediante la elaboración de salsas, ketchup y tomate frito entre otros. El 75% de la producción de tomate para industria es procesado en factorías localizadas en Extremadura, el 10% en Andalucía, el 12% en el valle del Ebro (Navarra, Rioja y Aragón) y el resto en otras áreas tales como Andalucía, Toledo, Murcia, Valencia y el Delta del Ebro (**AMITOM, 2004, 2005**).

Portugal ha ubicado la producción de tomate industrial en las llanuras del río Tajo y al noroeste de Lisboa, concentrando el 80% de la producción en esta zona, otro 10% de

la producción está en el sureste del país en la región del Alentejo. Existen, aproximadamente, doce empresas que procesan tomate en Portugal. Son empresas grandes comparadas con el promedio europeo. El 95% de la producción es destinada a la elaboración de pasta y en los últimos años la producción de tomate triturado y pasta de tomate en polvo se ha estado desarrollando en este país (**AMITOM, 2004**).

En Francia existen dos regiones principales de producción, la primera corresponde al sureste del país (Vaucluse, Bouches-du-Rhône, Gard, Sud Drôme, Valle de Rhone y Aude) con el 80% de la producción total y la segunda región corresponde al suroeste (Porción-et-Garonne, Landes, Dordogne, Gironde). Más del 80% de la producción de tomate es transformado en pasta y el resto es procesado en diferentes conservas, zumo o congelados. En la estación de cosecha generalmente diversifican su producción mediante la elaboración de salsas calientes o frías y ketchup entre otros. (**AMITOM, 2004**).

En Latinoamérica, destaca Chile quien concentra su producción de tomate industrial en las tierras féculas del valle central del país, donde las condiciones son ideales para la cosecha de este producto. Esta producción es adquirida por los procesadores quienes, mediante contrato, establecen las especificaciones pertinentes. Existen 8 grandes fábricas con capacidades comprendidas entre 120.000 y 140.000 t y una con disposición en planta de 400.000 t. Las líneas de fabricación utilizan tecnología italiana para la concentración y envasado aséptico destacándose su eficacia. La industria de tomate en Chile produce pasta, salsas y conservas de tomate tales como tomate pelado, troceado y pulpa, dirigiendo la producción prácticamente en su totalidad a la exportación (**WPTC, 2004**).

Al igual que el fruto de tomate, sus derivados, aportan un significativo grupo de compuestos de gran importancia en la alimentación humana, tal y como se ha comentado previamente. En la **Tabla 2**, se observa la composición del tomate maduro y en diferentes productos derivados.

Tabla 2. Composición del tomate maduro y de productos derivados por cada 100 g

Componente	Tomate maduro	Tomate Triturado (*)	Puré de tomate (*)	Pasta de Tomate (*)
Sólidos Totales (g)	5.50	10.56	12.12	26.50
Glucosa (g)	1.25	-	2.45	5.75
Fructosa (g)	1.37	-	2.38	5.85
Calcio (mg)	10	34	18	36
Hierro (mg)	0.27	1.30	1.78	2.98
Fósforo (mg)	24	32	40	83
Sodio (mg)	5	132	399	790
Potasio (mg)	237	293	439	1014
Magnesio (mg)	11	20	23	42
Vitamina C, total de ácido ascórbico, (mg)	12.70	9.20	10.6	21.9
Vitamina E (mg)	0.54	-	1.97	4.30
Licopeno (mg)	2.57	-	21.75	28.76
-caroteno (mg)	0.45	-	0.31	0.9

Fuente: **USDA (2005)** (*) Se ha adicionado cloruro de sodio en la formulación.

1.2.3. Proceso de elaboración de tomate triturado

El proceso de elaboración del tomate triturado se inicia con la selección de los frutos, separando de la línea de procesado aquellos que no posean el color adecuado y presenten daños físicos y microbiológicos. Posteriormente, se reduce la concentración de residuos, huevos y larvas de *Drosophila* (mosca de la fruta) y microorganismos presentes en la piel, mediante la inmersión del fruto en agua que contiene una concentración de cloro de 5-10 ppm (**Hayes y col., 1998**).

El paso siguiente consiste en cortar la fruta en piezas pequeñas y realizar un tratamiento térmico en función de las características finales que se desean alcanzar. Un escalado a 60 °C, conocido como triturado en frío (cold-break) si se desea un producto de baja consistencia. Este procedimiento permite la acción de las enzimas poligalacturonasa (PG) y pectinmetilesterasa (PME). Si el objetivo es aumentar la consistencia se utiliza el triturado en caliente (hot-break) que requiere temperaturas comprendidas entre 80 y 95 °C durante 1 ó 2 minutos. Los productos obtenidos con el triturado en frío presentan mejor color y un sabor más natural. Sin embargo, estos productos pueden presentar separación del suero durante el almacenamiento (**Thakur y col., 1996; Hayes y col., 1998 y Anthon y Barrett, 2003**).

Las pectinasas son enzimas que catalizan la hidrólisis de los grupos metil ester en las pectinas generando sustancias pécticas de bajo peso molecular y metanol (**Giner y col., 2005**). La actividad de las enzimas PG y PME genera turbidez y pérdidas en la consistencia en los productos de tomate (**De Sio y col., 1995** y **Yildiz y Baysal, 2006**). Tecnológicamente la PME es aceptada como indicador de la inactivación térmica porque es la enzima pectolítica más resistente al calor presente en los frutos del tomate (**Larrata y col., 1995** y **Yildiz y Baysal, 2006**). Otra enzima inactivada durante el escaldado es la lipoxigenasa (LOX), enzima responsable de catalizar la hidroxiperoxidación de los ácidos grasos polinsaturados y los ésteres mediante la utilización del oxígeno molecular, actividad que da lugar a la formación de los compuestos volátiles que contribuyen al olor característico del fruto de tomate fresco (**Rodrigo y col., 2006**).

A continuación, los trozos de fruta se trituran y se ajusta la acidez. El **Reglamento (CE) 1764/1986** permite adicionar a los derivados de tomate acidulantes hasta un valor máximo del 10% de sólidos totales expresados en ácido cítrico. Dicho Reglamento admite además la adición de cloruro de sodio en la formulación hasta un máximo del 3%. Finalmente, se envasa y el producto es sometido a un tratamiento térmico. El tratamiento térmico de los derivados de tomate, esta basado en la técnica conservación diseñada a principios del siglo XIX, gracias a los aportes realizados por el francés Nicolás Francois Appert en 1809 (**Jurgen, 1981** y **Hendrickx y col., 1993**).

Es un importante método que permite aumentar el periodo de almacenamiento de los alimentos (**Lund, 1977**). El principio de conservación de este método se basa en reducir la probabilidad de supervivencia de los organismos vegetativos y bacterias esporuladas presentes inicialmente en el alimento (**Nunes y col., 1993**). En los productos de tomate los microorganismos específicos ha inhibir es el *Bacillus coagulans* y el *Clostridium pasteurianum*, principales responsables de la alteración de este tipo de producto (**Hayes y col., 1998**).

Estos microorganismos, se caracterizan por ser esporulados, productores de ácido láctico y butírico. Por la alta termoresistencia de las esporas del *Bacillus coagulans*, normalmente es utilizado como un indicador en el diseño de los procesos de pasteurización o esterilización de los productos de tomate (**Sandoval y col., 1992**).

La pasteurización es un tratamiento térmico que usualmente utiliza valores de letalidad equivalentes no mayores a $F_0 = 3$ minutos a 100 °C (**Hendrickx y col., 1995**). El objetivo de este método es destruir microorganismos termosensibles (bacterias no esporuladas, levaduras y mohos) e inactivar enzimas (fosfatasas). Los productos

pasteurizados poseen una flora termófila que es capaz de desarrollarse entre 30-60 °C y aún puede multiplicarse a temperatura ambiente. Por tanto, este método va acompañado de otros tratamientos de conservación tales como la refrigeración y la fermentación (**Lund, 1977; Ordóñez, 2003**).

La esterilización es un proceso que inactiva microorganismos y sus esporas, utilizando, el valor de letalidad equivalente igual o superior a $F_0 = 3$ minutos a 100 °C (**Hendrickx y col., 1995**). Los productos esterilizados se envasan en condiciones de anaerobiosis con el propósito de almacenar el alimento a temperatura ambiente (**Lund, 1977; Ordóñez, 2003**).

Los tratamientos térmicos pueden realizarse, bien en el interior del envase o en forma continua, envasándose posteriormente en un envase aséptico (**Ibarz y Barbosa-Canovas, 2005**). El medio de calefacción utilizado en este tipo de proceso es vapor saturado, mezcla de vapor-aire o agua caliente en spray (**Barbosa-Canovas y Juliano, 2004**). La **Figura 4** representa un autoclave vertical, equipo comúnmente utilizado para esterilizar alimentos envasados. En este sistema se utiliza el calor latente del vapor del agua para incrementar la temperatura del alimento de tal manera que permita destruir las bacterias vegetativas y esporuladas.

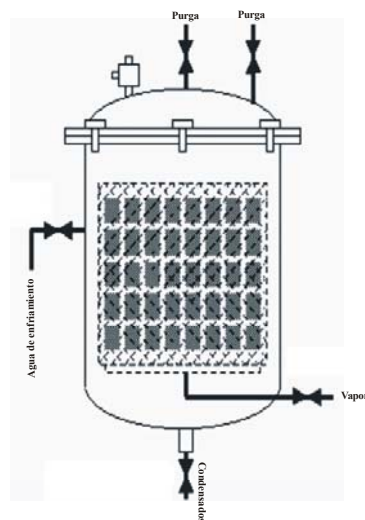


Figura 4. Autoclave vertical (Simpson y col., 2006)

1.2.4. Atributos de calidad en los productos de tomate

Las características ideales de los productos de tomate están relacionadas con un color rojo intenso, niveles altos de consistencia y un sabor, olor y/o aroma característico del fruto de tomate (**Kalamaki y col., 2003**). El color rojo tal como se ha indicado en el fruto es un importante factor de calidad en los derivados de tomate siendo uno de los atributos que más influye en el consumidor en el momento de adquirir este tipo de producto (**Thakur y col., 1996; Barreiro y col., 1997 y Min y Zhang, 2003**). El responsable del color rojo en los productos de tomate, es el licopeno (**Zanotti y col., 2001**).

Unido al color, la consistencia, es otro parámetro de calidad importante en los productos de tomate (**Barrett y col., 1998 y Apaiah y col., 2001**). Los sólidos insolubles de la pared celular (celulosa, hemicelulosa, lignina y pectina) se encuentran estrechamente relacionados con este parámetro (**Beresovsky y col., 1995; Barrett y col., 1998 y Kalamaki y col., 2003**).

El sabor, el olor y/o el aroma son también parámetros de reconocida importancia en este tipo de productos. El sabor en los tomates y sus derivados es una relación entre los azúcares glucosa, fructosa y los ácidos cítrico y málico (**Thakur y col., 1996; Rosello y col., 2002 y Salles y col., 2003**). El dimetil sulfuro es el más importante compuesto responsable del aroma a cocido en los productos de tomate (**Apaiah y col., 2001**).

Los sólidos totales, los sólidos solubles, la acidez y el pH, son igualmente parámetros relacionados con la calidad final de los productos de tomate (**Renquist y Reid, 1998**). Estas variables influyen en el sabor, la consistencia, el crecimiento de los microorganismos y el pardeamiento no enzimático (reacciones de Maillard) (**Thakur y col., 1997, Clavero, 2001 y Maltini y col., 2003**).

1.2.5. Alteraciones en los atributos de calidad durante el tratamiento térmico y el almacenamiento en derivados de tomate

Los tratamientos térmicos al destruir microorganismos patógenos e inactivar los sistemas enzimáticos, desencadenan considerables cambios que afectan a los atributos nutricionales y organolépticos de los productos alimenticios (**Lenz y Lund, 1980 y San Martín y col., 2002**). Estas modificaciones continúan aún durante el almacenamiento. La temperatura, el oxígeno, el nivel de iluminación, la humedad y el pH son los principales

catalizadores de la cinética de destrucción de los parámetros de calidad en los alimentos (Lenz y Lund, 1980; Shi y col., 2003 y Leskova y col., 2006).

Durante el tratamiento térmico y el almacenamiento de los productos de tomate la pérdida de la intensidad del color rojo es el cambio más importante. Esta reducción del color, está relacionada con los cambios físicos y químicos de los carotenoides, especialmente el licopeno (Calligaris y col., 2002). Diferentes mecanismos se han descrito para explicar estos cambios en los carotenoides: isomerización de las formas trans a las formas cis, reacciones de oxidación, co-oxidación de carotenoides catalizadas por enzimas oxidativas y modificación del estado físico de los carotenoides (Calligaris y col., 2002).

La degradación del licopeno se inicia con la isomerización de la forma trans a la forma cis, causando fragmentaciones subsecuentes que presumiblemente formarán compuestos de bajo peso molecular que contribuirán al aroma (Goula y Adamopoulos, 2005). En la **Figura 5** se describe en términos generales la degradación de los carotenoides.

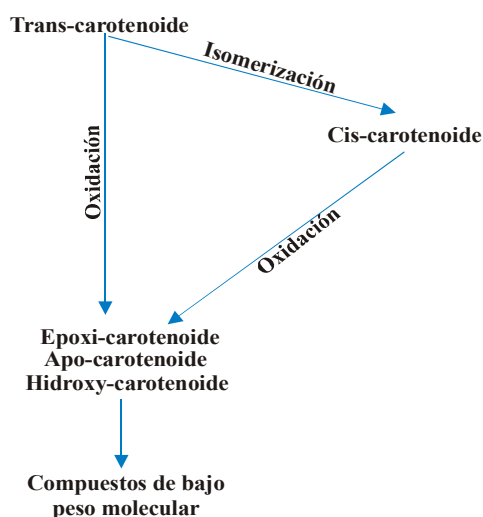


Figura 5. Degradación de los carotenoides (Rodríguez-Amaya, 1999a)

Noble (1975) registra una reducción del licopeno entre el 10.81 y el 56.80% en jugo de tomate que ha sido elaborado con pasta de tomate de diferentes grados de concentración. Igualmente Takeoka y col. (2001) registran pérdidas del 9-28% del contenido de licopeno durante la elaboración de pasta de tomate. En contraste, otros autores indican una relativa estabilidad de los carotenoides frente a los tratamientos de calor. Así, Khachik y col. (1992) afirman que la integridad y la distribución cualitativa de los carotenoides (licopeno, β -caroteno y luteína) se conserva después de ser procesados

térmicamente los tomates. **Lin y Chen (2005a)** encontraron un incremento del licopeno y de la luteína en tomates sometidos a diferentes procesos térmicos.

La eliminación del agua durante los procesos de concentración en productos como la pasta de tomate permite incrementar la concentración de los carotenoides (**Tonucci y col., 1995**). En cuanto al almacenamiento **Lin y Chen (2005b)** informan que después de 12 semanas de almacenamiento de zumo de tomate a 25 °C se redujo más del 60% el contenido de β -caroteno y más del 80% el contenido de licopeno.

Aunque la isomerización es una de las etapas iniciales de la degradación de los carotenoides, esta modificación permite aumentar la biodisponibilidad de estas moléculas en los derivados de tomate frente a los tomates frescos. **Porrini y col. (1998)** encuentran un incremento en el plasma sanguíneo del 17.85% de licopeno y un 31.57% de β -caroteno en sujetos que han consumido puré de tomate frente a los que han consumido tomate fresco.

Otras reacciones que afectan al color en los productos de tomate son las reacciones de pardeamiento, Maillard y oxidación del ácido ascórbico, ocurridas durante el procesado térmico y el almacenamiento (**Barreiro y col., 1997**). El pardeamiento no enzimático es el resultado de la reacción de aminoácidos libres o péptidos con azúcares reductores (**Wolfson y col., 1974**). El 5-hidroximetil-2-furfural (HMF) es una de las más importantes sustancias químicas producidas durante este tipo de reacciones, la determinación de este compuesto, permite evaluar el nivel de tratamiento térmico en los productos de tomate (**Hidalgo y Pompei, 2000**). Usualmente la velocidad de reacción en la formación del HMF depende de la temperatura, naturaleza y concentración del sustrato, el pH y el nivel de actividad de agua (**Buedo y col., 2001**).

La degradación del ácido ascórbico se puede realizar en condiciones aeróbicas o anaeróbicas del medio; estas dos vías, pueden actuar en forma alterna o en forma paralela (**Manso y col., 2001**). Ambas vías se inician con la formación del ácido dehidroascórbico (DHAA) y su posterior degradación a la forma 2,3 ácido dicetogulónico generando productos intermedios que, químicamente, no pueden ser distinguidos. El pH, la temperatura, el oxígeno, los iones de cobre, la sacarosa, las enzimas y los aminoácidos influyen en la cinética de degradación del ácido ascórbico durante el almacenamiento (**Vieira y col., 2000**).

Diversos autores han evaluado el efecto del tratamiento térmico y el tiempo de almacenamiento en la formación del HMF y la degradación del ácido ascórbico en los productos de tomate. Se puede citar entre a **Porreta (1991)**, que registra un aumento de

HMF de 19 a 100 mg/kg de producto después de someter pasta de tomate a un proceso térmico de 85 °C durante 12 horas. **Giovanelli y Lavelli (2002) y Lavelli y Giovanelli (2003)** al someter pulpa de tomate a un tratamiento térmico de 98 °C durante 50 minutos observan un incremento del contenido de HMF de 1.24 a 3.03 mg/kg de producto y un nivel de retención del 91.70% en el contenido de ácido ascórbico. En este mismo estudio después de 90 días de almacenamiento a 40 °C, el nivel de HMF alcanzó valores de 18.40 mg/kg de producto y un porcentaje de retención de ácido ascórbico aproximadamente del 70% en la pulpa de tomate.

Min y col. (2003) al someter jugo de tomate a 92 °C durante 90 segundos, encontraron que el porcentaje de retención del ácido ascórbico alcanzó un 90% y después de un periodo de almacenamiento de 40 días a 4 °C tan solo se logró retener el 20% de este ácido.

Junto al color, la consistencia es el parámetro más importante en los productos de tomate, este atributo de calidad se reduce durante los tratamientos de calor y el almacenamiento (**Apaiah y col., 2001 y Singh y col., 2002**). El procesado térmico afecta la estructura de la pared celular de los tejidos vegetales, particularmente, al grado de polimerización y al nivel de metilesterificación de los residuos del ácido galacturónico dentro de las pectinas (**Anthon y Barrett, 2006**). Durante el almacenamiento igualmente se presentan reacciones de hidrólisis de las pectinas causando procesos de sinéresis en el producto (**Singh y col., 2002**). **Camara y col. (2002)** al evaluar el efecto del calor en el contenido de sustancias pécticas durante la elaboración de pasta de tomate, indican que, probablemente, la continua acción del calor genera procesos de despolimerización permitiendo así la liberación de las moléculas de ácido urónico.

1.3. LA AGRICULTURA ECOLOGICA

La agricultura ecológica, orgánica o biológica es el resultado de una serie de reflexiones y de varios métodos alternativos de producción que se han ido desarrollando, básicamente en el norte de Europa, como una respuesta a la revolución verde (**Guillou y Sharpé, 2001**). La revolución verde es conocida hoy como agricultura convencional, modelo de producción intensivo que está basado en la hibridación, en la utilización de fertilizantes químicos, plaguicidas, herbicidas y aplicación de labores altamente mecanizadas.

En los años sesenta y setenta surge la conciencia de proteger el medio ambiente; sin embargo, es en los ochenta, cuando se produce el despegue de la agricultura ecológica con el despertar del interés por esta nueva forma de producción en la mayor parte de los países europeos y en otros países como Estados Unidos, Canadá, Australia y Japón (**Guillou y Sharpé, 2001 y Soto, 2003**).

Tres son las corrientes de pensamiento que sustentan este tipo de agricultura en Europa:

- En Inglaterra Sir Albert Howard (Un testamento Agrícola, 1940), desarrolla sistemas de producción en la India sin la ayuda de insumos externos. Howard implementa el método Indore de compostaje de residuos orgánicos y comprueba las ventajas del uso de fertilizantes orgánicos frente a los abonos minerales (**Soto, 2003 y López y Soler, 2004**).
- En Alemania Rudolph Steiner, proporciona las bases filosóficas para la agricultura biodinámica, promoviendo una agricultura que utiliza las fuerzas energéticas de todos los seres vivos y sus interacciones con el cosmos (**Soto, 2003**).
- En Suiza nace la agricultura biológica de la mano de H. Muller quien aplica los principios de Howard, basada en la utilización de fertilizantes orgánicos, en el buen estado del humus del suelo, la limitación de las labores culturales y en considerar la finca como una totalidad orgánica, viva y dinámica. Posteriormente, Hans Peter Rusch ratifican este método con argumentos científicos y económicos (**López y Soler, 2004**).

La Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica (IFOAM), establecida a principios de los años 70, representa a más de 600 miembros e instituciones en más de 100 países (**FAO, 2006**). La agricultura ecológica de acuerdo a INFOAM se caracteriza por ser un sistema de agricultura holístico que enfatiza en los ciclos biológicos en la agricultura, trabaja con recursos renovables dentro de un sistema cerrado que considera la materia orgánica como una fuente de elementos nutricionales, mantiene la diversidad genética, promueve las condiciones naturales de vida en los animales, minimiza toda forma de contaminación que puede ser generada por la agricultura y evalúa el impacto social y ecológico generado en los sistemas de producción agrícola (**Rodríguez y col., 2001**). Este organismo considera como productos ecológicos aquellos alimentos producidos en sistemas que respetan los siguientes principios básicos (**FAO, 2006**):

- Promover los ciclos biológicos dentro del sistema de cultivo implicando organismos y flora.
- Mantener e incrementar la fertilidad del suelo.
- Proteger los sistemas acuíferos.
- Utilizar recursos renovables en sistemas agrícolas locales.
- Trabajar con recursos propios de la zona del cultivo.
- Dar el máximo bienestar a los animales y restringir altas densidades de encierro.
- Reducir al mínimo todas las formas de contaminación que pueden resultar de las prácticas agrícolas.
- Conservar la diversidad genética del sistema agrícola y de sus alrededores, incluyendo la protección del hábitat de la planta y de la fauna.
- Promover la calidad de vida de las personas involucradas en la producción agrícola ofreciéndole adecuadas condiciones de trabajo.
- Considerar el impacto social y ecológico en los sistemas de cultivo.
- Progresar hacia una cadena orgánica completa de la producción, que es socialmente justa y ecológicamente responsable.

En 1981 el USDA define el concepto de la agricultura ecológica como “un sistema de producción que evita o excluye en gran parte el uso de fertilizantes sintéticos, pesticidas y reguladores de crecimiento. Al grado máximo factible, los sistemas orgánicos de la agricultura confían en rotaciones de cosecha, residuos de la cosecha, el abono animal, las legumbres, el abono verde, residuos orgánicos de la granja y roca mineral para suplementar

la nutrición del suelo y la planta. Insectos, hierbas y otras enfermedades se manejan rotando los cultivos, aplicando un control biológico y manejos culturales y mecánicos del cultivo” (FAO, 2006).

La Comisión del **Codex Alimentarius (2001)** define la agricultura ecológica como “un sistema holístico de gestión de la producción que fomenta y mejora la salud del agroecosistema y, en particular, la biodiversidad, los ciclos biológicos, y la actividad biológica del suelo”. Emplean, siempre que sea posible, métodos culturales, biológicos y mecánicos, en contraposición al uso de materiales sintéticos. La finalidad de un sistema ecológico según el **Codex Alimentarius (2001)** es:

- Aumentar la diversidad biológica del sistema en su conjunto.
- Incrementar la actividad biológica del suelo.
- Mantener la fertilidad del suelo a largo plazo.
- Reutilizar los desechos de origen vegetal y animal a fin de devolver nutrientes a la tierra, reduciendo al mínimo el empleo de recursos no renovables.
- Basarse en recursos renovables y en sistemas agrícolas organizados localmente.
- Promover un uso saludable del suelo, el agua y el aire y reducir al mínimo todas las formas de contaminación de estos elementos que puedan resultar de las prácticas agrícolas.
- Manipular los productos agrícolas haciendo hincapié en el uso de métodos de elaboración cuidadosos, a efectos de mantener la integridad orgánica y las cualidades vitales del producto en todas las etapas.
- Establecerse en cualquier finca existente a través de un período de conversión cuya duración adecuada dependerá de factores específicos para cada lugar, como la historia de la tierra y el tipo de cultivos y ganado que hayan de producirse.

La Unión Europea ha establecido como concepto de agricultura ecológica la definición establecida por el Codex Alimentarius (**Bordeleau y col., 2002**).

A nivel mundial en el 2006 más de 31 millones de ha se han destinado a la producción ecológica, el 39% se encuentra en Australia y Oceanía, el 21% en Europa, el 20% en Latinoamérica, el 13 % en Asia, el 4 % en Norte América y el 3% en África. Australia es el país que mayor extensión dedica a la agricultura ecológica, aproximadamente 12 millones de ha, seguido por China con 3.4 millones, Argentina con

2.8 millones, Italia con 0.95 millones, Estados Unidos con 0.89 millones y Brasil con 0.88 millones. En Europa la superficie destinada a la agricultura ecológica es de 6.5 millones de ha, lo que constituye aproximadamente el 3.4% del área destinada a la agricultura en este continente. La producción ecológica es liderada por Italia con 0.95 millones de ha, Alemania con 0.77 millones, España con 0.73 millones e Inglaterra con 0.69 millones (INFOAM, 2006).

En España, la superficie destinada a la producción ecológica ha crecido desde 4235 ha en 1991 hasta 807569 ha en el 2005, esta superficie corresponde al 2.28% de la superficie total destinada a la agricultura. Igualmente en cuanto a los operadores (productores, elaboradores e importadores) en 1991 tan solo existían 396 y en 2005 ascienden a 17500. En este año más del 80% de la superficie española destinada a este tipo de explotación se encuentra en Andalucía con el 49.95%, Aragón con el 9.19%, Extremadura con el 8.34%, Castilla la Mancha con el 8.01% y Cataluña con el 6.71%. Galicia contribuye con el 1.13% del total de la superficie destinada a la producción ecológica (MAPA, 2005).

Los cereales y leguminosas lideran la superficie de agricultura ecológica en España con 209968 ha, le sigue el olivar con 201892 ha, los frutos secos con 96908 ha, la vid con 40378 ha, barbecho 177665 ha, las plantas aromáticas y medicinales con 32303 ha, los frutales y cítricos con 16151 ha, las hortalizas y tubérculo con 8076 ha y otros 24227 ha (MAPA, 2005). En Galicia el 50% de la explotación ecológica se encuentra en Ourense, el 39.84% en Lugo, el 7.82% en La Coruña y el 2.34% en Pontevedra. En términos de producción, ocupan las superficies más amplias pastos pradera y forrajes seguido de bosques y recolección silvestre (Tabla 3).

Tabla 3. Superficie destinada a agricultura ecológica (ha) por tipo de cultivo en Galicia en el año 2005

Tipo de Cultivo	A Coruña	Lugo	Ourense	Pontevedra	Total
Cereales, Leguminosas y Otros	3.17	38.84	122.72	3.35	766.27
Hortalizas y Tubérculos	19.34	11.45	11.02	3.83	45.64
Frutales	26.88	206.23	25.97	40.72	299.80
Vid	0.10	6.92	15.83	11.09	34.94
Aromáticas y Medicinales		25.98		0.10	26.08
Bosques y Recolección Silvestre	157.12	708.30	46.87	3.50	915.79
Pastos Praderas y Forrajes	505.20	2638.11	4315.87	147.64	7606.82
Barbecho y Abono Verde		2	39.82	1.56	43.38
Semillas y Viveros			0.07	0.65	0.72
Otros	4.63	10.17	0.31		15.11
Total	716.44	3648	4579.48	212.44	9156.36

Fuente: MAPA (2005)

El comercio mundial de productos ecológicos es aproximadamente el 1% de las ventas totales de alimentos (**Tuzel y col., 2004**). En el año 2005 las ventas globales de este tipo de alimentos correspondieron a 26.58 billones de euros, Estados Unidos contribuye con el 46.60% de las mismas, le sigue Europa con el 35.70%, Asia-Pacífico con el 12.40% y el resto del mundo con el 5.30%. El mercado en 2005 fue liderado por las frutas y hortalizas con el 39.60%, cereales y derivados con el 16.40%, bebidas con el 13.30%, productos lácteos con el 12.40%, productos cárnicos con el 2.60%, y otros con el 15.70% (**Global Organic Food, 2005**).

En el periodo 2001-2005 las ventas de productos ecológicos se han incrementado anualmente un 15.5% y se espera para el periodo 2003-2008 unas ventas de 41 billones de euros con una tasa de crecimiento anual del 13.7%. Las firmas multinacionales como WalMart, Carrefour, Safeway, Tesco, Kroger y Royal Ahold N.V, son los canales habituales de distribución para este tipo de productos (**Global Organic Food, 2005**).

Europa, en el año 2005, aportó 9.47 billones de euros al mercado mundial de productos ecológicos, las expectativas de crecimiento en Europa para el periodo 2003-2008 son del 10.30% (**Global Organic Food, 2005**). En España las ventas de productos ecológicos ascendieron a 121.88 millones de euros en el 2003, con una tasa de crecimiento del 13.20% en el periodo 1999-2003. Se destacan las ventas de cereales y derivados con el 47.20% del global de las ventas. Encontrándose en el segundo lugar el segmento de las frutas y vegetales con el 34.60%. Para el año 2008 se estima unas ventas de 261.31 millones de dólares con una tasa de crecimiento en el periodo 2003-2008 del 16.50%, superior a la estimada para Europa (**Global Organic Food, 2005**).

El éxito de la agricultura ecológica en la Unión Europea radica en:

- El incremento observado en la preocupación de los consumidores por la seguridad alimentaria y por su sensibilidad hacia el deterioro del medio ambiente.
- El compromiso adquirido por los países miembros por desarrollar la agricultura ecológica, a través de subsidios y otros apoyos directos a la investigación, marketing y difusión.
- La mayor participación en las ventas totales de importantes comercializadores convencionales, como las grandes cadenas de supermercados, quienes perciben la creciente demanda de alimentos ecológicos y como una mayor oferta de éstos puede mejorar su competitividad. Esto ha ido acompañado de un fuerte trabajo de

promoción y educación al consumidor (**Sánchez y Sanjuan, 2002 y Soto. 2003**).

- Sistema de trazabilidad de alto nivel que permite dar confianza al consumidor.

1.3.1. Legislación sobre agricultura ecológica

La IFOAM desarrolla los estándares básicos para la producción ecológica en 1998 y son revisados en 2002. El objetivo de esta organización es conseguir un grado de similitud en los diferentes estándares. Este organismo ha establecido la organización International Organic Accreditation Service (IOAS) que certifica otras organizaciones que controlan el cultivo y la manufactura de acuerdo a los estándares y métodos de control establecidos por la IFOAM en el 2002 (**Siderer y col., 2006**). Otra organización internacional que desarrolla estándares en la producción de productos ecológicos es la Comisión del Codex Alimentarius que, en 1999, formula las directrices para la producción, elaboración, etiquetado y comercialización de alimentos producidos ecológicamente y que son revisadas el año 2001. La finalidad de estas directrices es:

- Proteger a los consumidores contra engaños y el fraude en el mercado, y contra declaraciones de propiedades no demostradas.
- Proteger a los productores de alimentos ecológicos contra descripciones falsas de otros productos agrícolas.
- Proporcionar directrices internacionales para sistemas de control de alimentos ecológicos
- Mantener y mejorar los sistemas de agricultura ecológica en cada país para que contribuyan a la preservación en el ámbito local y mundial.
- Asegurar que todas las fases de la producción, preparación, almacenamiento, transporte y comercialización estén sujetas a inspección y cumplan con estas directrices
- Armonizar las disposiciones para la producción, certificación, identificación y etiquetado de productos de producción ecológica.

Las directrices establecen principios que orientan a la producción ecológica en granja y en las fases de preparación, almacenamiento, transporte, etiquetado y comercialización, y aportan una indicación de los insumos permitidos para la fertilización

y acondicionamiento del suelo, para combatir las plagas de las plantas y las enfermedades, y como aditivos alimentarios y coadyuvantes de elaboración (**Codex Alimentarius, 2001**).

En la Unión Europea la producción de productos ecológicos está regulada por el **Reglamento (CE) 2092/1991**. De acuerdo a esta legislación los productos sólo pueden ser comercializados como productos ecológicos si han sido producidos bajo los criterios establecidos en la citada norma. Los controles sobre la producción ecológica se efectúan en la finca de producción, en la industria de transformación y en la cadena de comercialización. Por lo tanto, los consumidores finales tienen garantizado que cuando un alimento ecológico ha llegado al mercado es porque ha cumplido la normativa vigente en todas las etapas que existen desde el productor hasta el consumidor (**López y Soler, 2004**). Esta norma se aplica a productos vegetales y animales no transformados, a los productos agrícolas transformados destinados a la alimentación humana y a los piensos para animales. Además incluye definiciones, parámetros de etiquetado, normas de producción, sistemas de control, indicaciones de conformidad con el régimen de control e importaciones de terceros países. Se ha completado dicho Reglamento con la creación de un logotipo para el etiquetado de este tipo de alimentos.

En España la agricultura ecológica se encuentra regulada legalmente desde 1989, mediante el Reglamento de la Denominación Genérica “agricultura ecológica” que se ha aplicado hasta la entrada en vigor del **Reglamento (CE) 2092/1991**. Posteriormente, el **Real Decreto 1852/1993** establece la nueva regulación de agricultura ecológica basada en dicho **Reglamento (CE) 2092/1991**, al mismo tiempo que las Comunidades Autónomas empiezan a asumir las competencias de control de este sistema de producción. El **Real Decreto 1852/1993** crea la Comisión Reguladora de Agricultura Ecológica, configurada como un órgano colegiado adscrito al Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, para el asesoramiento en esta materia. En esta comisión participan el sector, los consumidores, la Administración Central y las Comunidades Autónomas quienes ejercen funciones de asesoramiento en todas aquellas materias que afecten a la agricultura ecológica (**MAPA, 2005**).

El control y la certificación de la producción agraria ecológica se lleva a cabo mayoritariamente a través de Consejos o Comités de Agricultura Ecológica territoriales, que son organismos dependientes de las Consejerías o Departamentos de Agricultura de las Comunidades Autónomas, o directamente por direcciones Generales adscritas a las mismas. Como distintivo para que el consumidor pueda distinguir en el mercado los productos de la agricultura ecológica, los envases, además de su propia marca, llevan una

etiqueta numerada y un logotipo o anagrama específico con el nombre y/o el código de la autoridad u organismo de control y la leyenda “Agricultura Ecológica” (**Figura 6**). El poseer esta etiqueta significa que la finca o la industria donde se ha producido o elaborado el producto, está sometida a los controles e inspecciones correspondientes de la Autoridad o del Organismo establecido al efecto en la respectiva Comunidad Autónoma. Constituye, a su vez, la única garantía oficial de que el producto responde a la calidad supuesta por el consumidor y cumple las normas establecidas en el **Reglamento (CE) 2092/1991 (MAPA, 2005)**.



Figura 6. Logotipo de producto ecológico de la Unión Europea y del Consejo Regulador de Agricultura Ecológica de Galicia (España)

1.3.2 Diferencias entre alimentos ecológicos y convencionales

Existe un amplio rango de factores investigados en estudios comparativos entre los sistemas de producción de alimentos ecológicos y convencionales. Entre estos factores se incluyen económicos, rendimientos de cultivos, agronómicos (propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo, manejo de insectos y enfermedades), prácticas culturales, calidad de producción (valor nutricional, características organolépticas y vida de almacenamiento), impacto ambiental y biodiversidad entre, otros.

Diversos investigadores han realizado revisiones bibliográficas de estudios que han enfocado sus análisis a contrastar la calidad de alimentos producidos ecológicamente frente a los obtenidos convencionalmente (**Woese y col., 1997; Worthington, 2001; Bourn y Prescott, 2002**). Gran parte de los trabajos analizados por estos autores están centrados en comparar la calidad nutricional de los productos ecológicos frente a los de origen convencional.

Woese y col. (1997) presentan una revisión de más de 150 estudios comparativos que han sido publicados entre 1926 y 1994, en los que se evalúan productos tales como cereales, patatas, espinacas, zanahorias, tomates, manzanas, fresas, naranjas, limones, vino,

cerveza, pan, leche, carne, huevos y miel. Respecto a los productos vegetales las diferentes investigaciones se centran en evaluar el contenido de sólidos totales, proteínas, carbohidratos, vitaminas A, C, B₁ y B₂, ácidos orgánicos y minerales. Así se observa que si bien los cereales y los vegetales de hoja, de origen ecológico presentan menor contenido de proteínas y un nivel más alto de sólidos totales, en la mayoría de los productos no se detectan diferencias significativas.

Worthington (2001) en su trabajo incluye 41 estudios comparativos publicados entre 1941 y 1996, concluyendo que los productos ecológicos contienen un 27% más de vitamina C, un 21.10% más de hierro, un 29.30% más de magnesio y un 13.60% más de fósforo que los productos convencionales. **Bourn y Prescott (2002)** al evaluar 49 estudios publicados entre los años 1972 y 2000, concluyen que los productos convencionales poseen menor contenido de materia seca, vitamina C, minerales y β -caroteno que los productos ecológicos.

En la **Tabla 4** se recogen 16 estudios publicados recientemente entre 2000 y 2006, estos trabajos evalúan las diferencias físico-químicas en productos vegetales, especialmente, el contenido de metabolitos secundarios. Se observa en los estudios realizados por **Hakkinen y Torronen (2000)**, **Rodríguez y col. (2001)**, **Bordeleau y col. (2002)**, **Rembialkowska (2003)**, **Hakala y col. (2003)**, **Caussiol y Joyce (2004)** y **Anttonen y Karjalainen (2006)** no obtienen diferencias significativas entre los parámetros estudiados en los dos tipos de cultivos. Salvo los estudios realizados por **Lombardi-Boccia y col. (2004)**, **Lester (2006)** y **Abert y col. (2006)** los productos ecológicos presentan significativamente mayores niveles de metabolitos secundarios.

Tabla 4. Resumen de estudios comparativos entre vegetales producidos ecológica y convencionalmente

Estudio	Muestra	Parámetro analizado	Principales resultados
Hakkinen y Torronen (2000)	Fresas	Kaemferol, quercetina, ácido elágico y p-cumárico	Dos de las variedades analizadas no presentan diferencias estadísticas en el contenido de flavonoides y fenoles. La tercera variedad de origen ecológico presenta un 12% más de los compuestos fenólicos totales que su similar convencional.
Colla y col. (2000)	Tomate	Sólidos solubles, pH, acidez, consistencia y color,	Los frutos convencionales presentan estadísticamente mayor valor en sólidos solubles, acidez y color frente a las muestras ecológicas. El pH y la consistencia no presentan diferencias significativas.
Rodríguez y col. (2001)	Tomate	N, P, K, Mg, Mn, Fe, Cu, B, Zn, Na, Cl, materia insoluble en alcohol, azúcares reductores, proteínas, L*, a*/b*, °Brix, pH y análisis sensorial	No hay diferencias estadísticas entre los dos tipos de cultivo.
Carbonaro y col. (2002)	Duraznos y peras	Ácido ascórbico, ácido cítrico y compuestos fenólicos totales	Estadísticamente los frutos ecológicos presentan un contenido de fenoles superior. Existe una mayor concentración de ácido ascórbico y ácido cítrico en los duraznos ecológicos, mientras que en las peras no se encontraron diferencias estadísticas.
Bordeleau y col. (2002)	Manzana	Materia seca, firmeza, sólidos solubles, acidez total y pH.	No se presentan diferencias estadísticas en los dos tipos de cultivo.

Tabla 4. (Continuación) Resumen de estudios comparativos entre vegetales producidos ecológica y convencionalmente

Estudio	Muestra	Parámetro analizado	Principales resultados
Capitini y col. (2002)	Banana, albaricoque, melocotón, fresa, melón y manzana	Sólidos solubles (°Brix), consistencia, L*, H° y C*	El cultivo ecológico se diferencia estadísticamente al presentar mayores valores de consistencia (banana, fresa y albaricoque), °Brix (melocotón, melón y fresa), L* (melocotón y melón), H° (melón y fresa), C* (melón y albaricoque). El cultivo convencional se diferencia significativamente al presentar los mayores valores de °Brix, L*, H° y C* (banana), H° (manzana y albaricoque) y °Brix (albaricoque). No presentan diferencias significativas en consistencia (melocotón, manzana, melón), L* (manzana, fresa y albaricoque), C* (melocotón, manzana y fresa), H° (melocotón) y °Brix (manzana).
Rembalkowska (2003)	Zanahoria	Materia seca, calcio, potasio, magnesio, - caroteno y azúcares totales	Estadísticamente no se presentan diferencias en los dos tipos de cultivo.
	Patata	Materia seca, vitamina C, almidón y proteínas	Las muestras ecológicas presentan estadísticamente mayor nivel de materia seca, vitamina C y menor contenido en el total de proteína. No hay diferencias estadísticas en el nivel de almidón.
Asami y col. (2003)	Muestras de maíz deshidratadas	Compuestos fenólicos totales	Estadísticamente los productos ecológicos presentan mayor nivel de fenoles.
Hakala y col. (2003)	Fresas	Vitamina C, Mn, Mg, Ca, K, Fe, Zn, Cu y Cd	No diferencias significativas en el contenido de vitamina C y minerales debido al tipo de cultivo.

Tabla 4. (Continuación) Resumen de estudios comparativos entre vegetales producidos ecológica y convencionalmente

Estudio	Muestra	Parámetro analizado	Principales resultados
Caris-Veyrat y col. (2004)	Tomate	Licopeno, -caroteno, vitamina C, ácido clorogénico, rutina y naringenina	Los tomates ecológicos se diferencian estadísticamente al presentar mayores contenidos en todos los parámetros analizados.
Caussiol y Joyce. (2004)	Banana	Peso, diámetro, longitud, L*, H°, sólidos solubles, acidez total, almidón y firmeza	Ninguna de las variables presenta diferencias estadísticas.
Lombardi-Boccia y col. (2004)	Ciruela amarilla	Humedad, cenizas, proteína, lípidos, P, Ca, Fe, Mn, K, Mg, Zn, Na, Cu, total fibra, glucosa, sacarosa, fructosa, glucosa, sorbitol, ácido cítrico, ascórbico y málico, -tocoferol, -tocoferol, - caroteno, K1 y total de polifenoles.	No hay diferencias significativas en P, Ca, Fe, Mn, humedad, proteína, lípidos, total de fibra, sacarosa, fructosa, glucosa, sorbitol, ácido ascórbico y málico. Los frutos convencionales presentan estadísticamente los mayores valores de Na, Cu, ácido cítrico, -tocoferol, total de polifenoles y K1, y menores niveles de cenizas, K, Mg, Zn, - tocoferol y - caroteno.
Núñez y col. (2005)	Uva	Polifeniloxidasas	Las muestras de origen ecológico presentan mayor actividad de la polifeniloxidasas frente a los frutos convencionales.
Lester (2006)	Uva	Naringenina, Mn, Zn, peso, sólidos solubles, pH, licopeno, Na, Mg, K, pectina, glucosa, fructosa, sacarosa, acidez, N, P, Fe, Cu, Cl, Ca, B y NO ₃	La uva ecológica presenta estadísticamente mayores contenidos de naringenina, Mn y Zn y menores niveles de licopeno, peso, sólidos solubles Na, Mg, K. No hay diferencias significativas en cuanto al contenido de pectina, glucosa, fructosa, sacarosa, acidez, N, P, Fe, Cu, Cl, Ca, B y NO ₃
Abert y col. (2006)	Uva	Antocianinas	Niveles significativamente mayores en los frutos de origen convencional.
Anttonen y Karjalainen (2006)	Grosella negra	Compuestos fenólicos totales	Estadísticamente no se presentan diferencias en los dos tipos de cultivo.

A pesar del aumento del comercio de los productos ecológicos en el mundo y en España, Galicia es una de las comunidades que menos consume productos ecológicos. Una de las razones para que se presente esta situación es la falta de información sobre este tipo de productos. Aunque existe una bibliografía relativamente extensa sobre estudios comparativos entre productos ecológicos y convencionales, se han encontrado en muchos de ellos alta variabilidad en los datos que no permite la generalización de los resultados obtenidos. En algunos de estos estudios se indica que de forma general no se encuentran diferencias entre ambos tipos de productos mientras que en otros sí las encuentran a nivel de ciertas características físico-químicas y nutricionales.

Por lo anterior es necesario investigar las diferencias físico-químicas y nutricionales de los productos cultivados y procesados en Galicia por ello el grupo de investigación de **Análisis Sensorial y Físico-Químico de Alimentos** de la Universidad de Santiago de Compostela ha centrado su investigación en identificar las diferencias en las características sensoriales, físico-químicas y nutricionales de los productos ecológicos y convencionales producidos en Galicia tanto en fresco como productos elaborados, especialmente lo relacionado con los metabolitos secundarios (carotenoides, ácidos orgánicos, vitaminas y compuestos fenólicos) a través del proyecto de investigación **“Estudio comparativo de las características sensoriales y físico-químicas de productos vegetales ecológicos, en fresco y tras la aplicación de diferentes procesos industriales, frente a convencionales”**. Parte de este proyecto ha sido abordado en esta Tesis Doctoral.

OBJETIVOS

El presente trabajo se encuadra dentro del Proyecto de Investigación financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología de título “*Estudio comparativo de las características sensoriales y físico-químicas de productos vegetales ecológicos, en fresco y tras la aplicación de diferentes procesos industriales, frente a convencionales*” (Referencia AGL 2002-03018 ALI) y se ha planteado en base a los siguientes objetivos:

- Evaluar el efecto de la variedad y el tipo de cultivo (ecológico y convencional) sobre las características físico-químicas, nutricionales y microscópicas del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.).
- Relacionar el contenido de licopeno determinado mediante HPLC en tomate fresco con la determinación microscópica y con los parámetros de color $CIE_{L^*a^*b^*}$.
- Estudiar la influencia de la materia prima (cultivo ecológico o convencional), el proceso de elaboración (ecológico y convencional) y el tiempo de almacenamiento sobre las características físico-químicas y nutricionales de conservas de tomate triturado.
- Reducir el número de variables físico-químicas utilizadas en el seguimiento del proceso de elaboración de derivados de tomate

MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. MUESTRAS

3.1.1. Tomate fresco procedente del cultivo ecológico y convencional

Para la realización del presente estudio se han analizado tres variedades de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en fresco: Lladó, Antillas y Red Spring. De cada variedad se han tomado, al azar, dos muestras, cada una compuesta por 15 tomates procedentes de 2 tipos de cultivo (ecológico y convencional) de la misma zona de producción.

Las muestras de la variedad Lladó proceden de fincas de Sada (A Coruña) (**Figura 7**). Las de la variedad Antillas de fincas de A Mariña (Lugo) (**Figura 8**). Los frutos de la variedad Red Spring proceden de Badajoz (Extremadura) (**Figura 9**). Todas las muestras han sido recolectadas durante el verano (julio-septiembre del 2005).

Los frutos ecológicos han sido cultivados de acuerdo a los requerimientos y controles del Consejo Regulador de Agricultura Ecológica de Galicia (CRAEGA) y del Consejo Regulador de Agricultura Ecológica de Extremadura, entes responsables de aplicar los Sistemas de Control establecido en el **Reglamento (CE) 2092/1991** para este tipo de cultivo y los tomates convencionales han sido producidos bajo los criterios establecidos por la **Norma UNE 1550012/2000**, sustituida en el mes de octubre del 2005 por la **Norma UNE 155102/2005**.

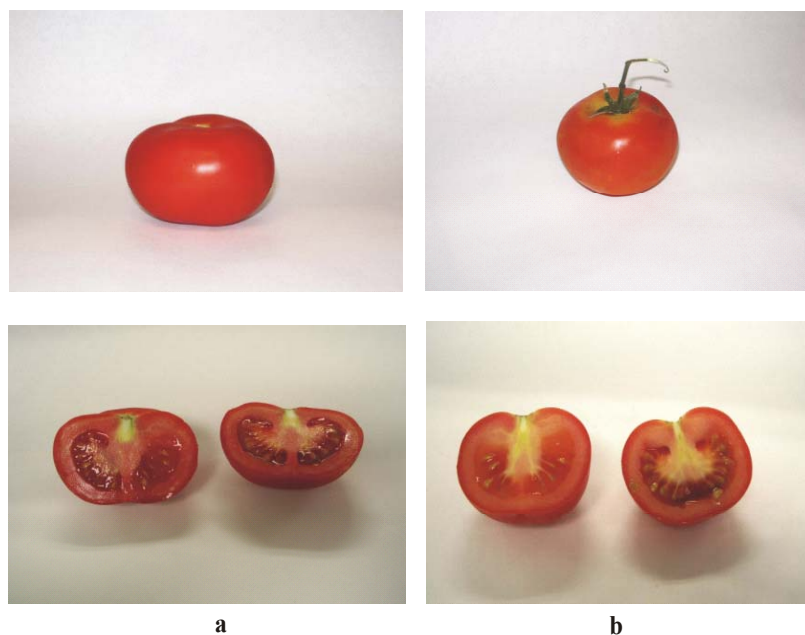


Figura 7. Tomate de la variedad Lladó, entero y seccionado longitudinalmente: (a) convencional y (b) ecológico.

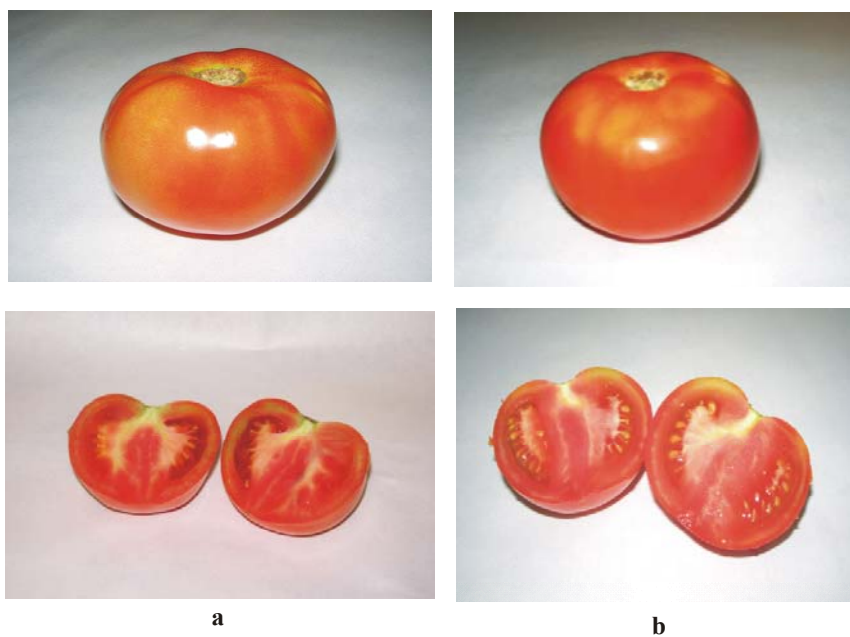


Figura 8. Tomate de la variedad Antillas, entero y seccionado longitudinalmente: (a) convencional y (b) ecológico

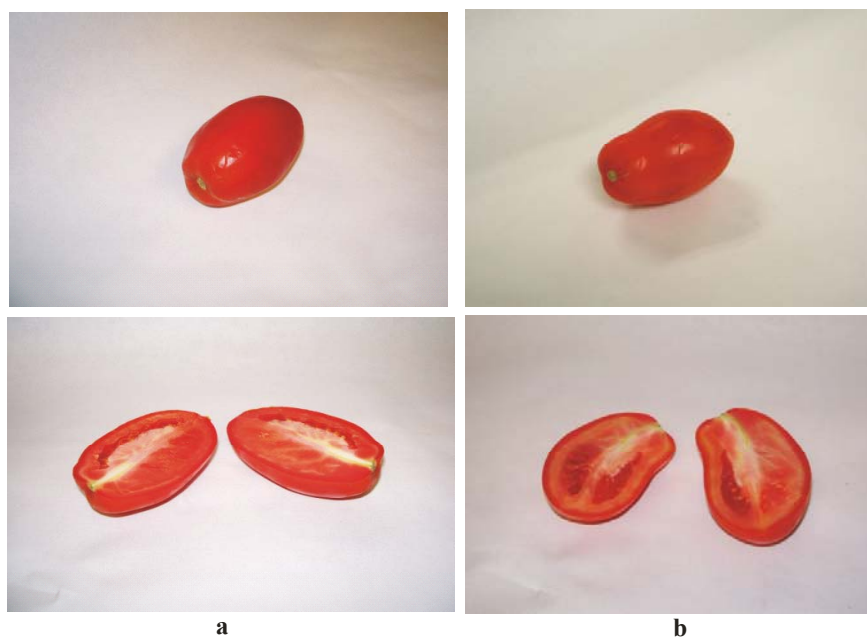


Figura 9. Tomate de la variedad Red Spring, entero y seccionado longitudinalmente: (a) convencional y (b) ecológico

3.1.2. Tomate fresco comercial

Se han evaluado en fresco siete variedades de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.): Canario, Pitenza, Long life, Patrona, Caramba, Cherry y Antillas (**Figura 10**), adquiridos en diferentes supermercados de la ciudad de Lugo. De cada variedad se dispuso de cuatro muestras constituidas entre 5 y 8 tomates.

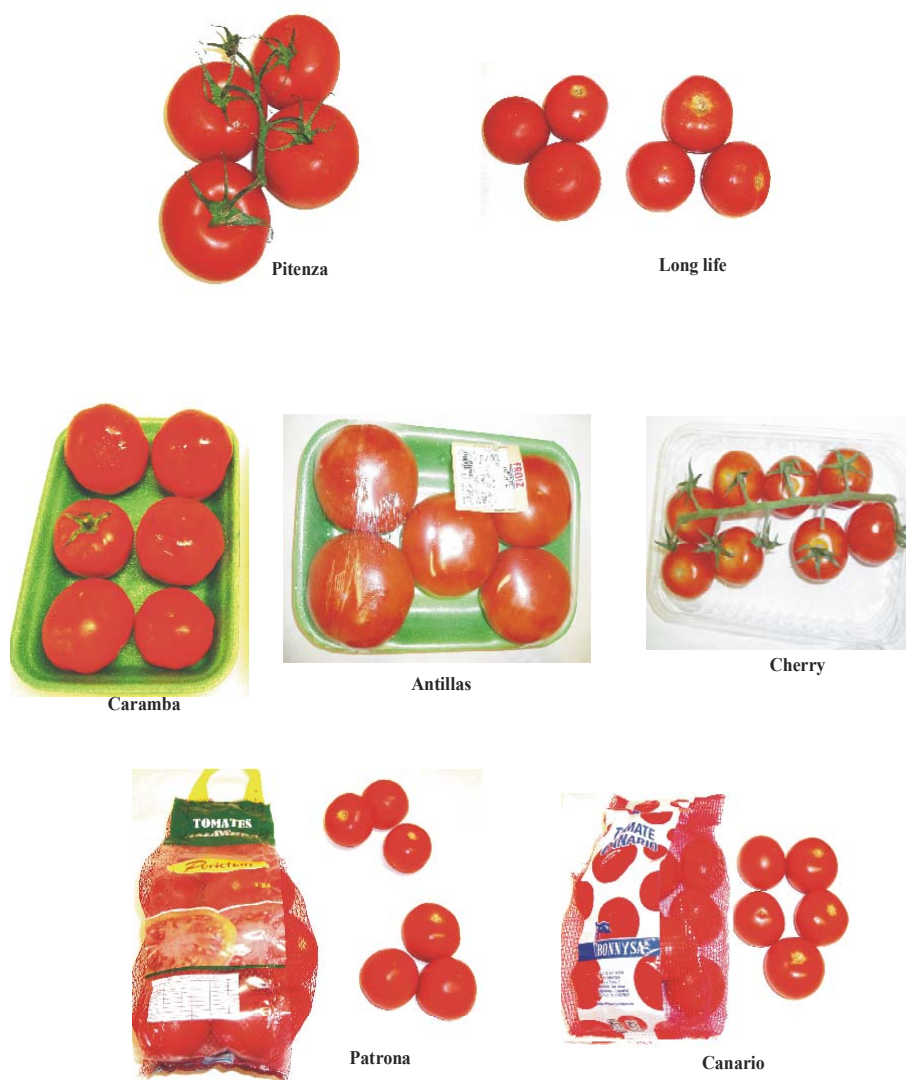


Figura 10. Tomate fresco comercial

3.1.3. Tomate Triturado

Partiendo de la variedad Red Spring se han elaborado tres tipos de tomate triturado en la Nave de Industrias Agrarias y Alimentarias, situada en el edificio de Ampliación de la Escuela Politécnica Superior de Lugo.

- Tomate triturado ecológico (EE), elaborado con tomates ecológicos y aplicando un proceso de elaboración según lo establecido para los productos ecológicos: artículo 5 y Anexo III y IV del **Reglamento (CE) 2092/1991**, igualmente Anexo 1C y Anexo 2 del **Codex Alimentarius (2001)**.
- Tomate triturado convencional (CC) preparado con frutos convencionales, aplicando en este caso un procedimiento de elaboración convencional.
- Tomate triturado convencional ecológico (CE) obtenidos a partir de tomates convencionales y siguiendo el proceso de elaboración de las conserva ecológica (**Reglamento (CE) 2092/1991 y Codex Alimentarius, (2001)**)

Cada elaboración se realiza por duplicado y se dispone para el respectivo análisis de 8 muestras de 370 mL por cada tratamiento. En el apartado de Resultados y Discusión se detalla el proceso de obtención de las citadas conservas.

En la **Figura 11** se puede observar los productos obtenidos tras el proceso de elaboración. Estas conservas se almacenan a temperatura ambiente (20 ± 1.8 °C) durante seis meses y se evalúan a lo largo del tiempo (0, 60, 120 y 180 días).



Figura 11. Conservas de tomate triturado

3.1.4. Productos de tomate comerciales

Se han analizado 25 muestras comerciales de productos derivados de tomate (**Tabla 5**), elaborados en Italia, Francia, España, Portugal, Estados Unidos, México, Colombia y Chile (**Figuras 12 y 13**). Entre ellas se incluyen desde productos poco elaborados (tomate triturado), hasta altamente concentrados (triple concentrado), adquiridos en los supermercados de cada uno de los países de origen, salvo la muestra de Francia (producto importado por el mercado español) y el de Chile (producto importado por los industriales colombianos).

Tabla 5. Derivados de tomate comerciales

Código del producto	Denominación comercial	Origen
Pu	Puré tomate	Portugal
Pa	Concentrado tomate	Portugal
Pu	Puré tomate	Italia
2x	Doble concentrado de tomate	Italia
3x	Triple concentrado de tomate	Italia
TT	Tomate triturado	España
TT	Tomate triturado ecológico	España
TT	Tomate triturado	España
TT	Tomate triturado	España
TT	Tomate triturado	España
TT	Tomate triturado ecológico	España
TT	Tomate triturado extra	España
Pu	Puré tomate	España
2x	Doble concentrado de tomate	Francia
Pa	Pasta de tomate	USA
Pa	Pasta tomate ecológica	USA
Pu	Puré tomate	USA
Pa	Pasta de tomate	USA
Pu	Puré de tomate	USA
Pu	Puré de tomate	México
Pu	Puré de tomate	Colombia
Pu	Puré de tomate	Colombia
Pa	Pasta de tomate	Colombia
Pa	Pasta de tomate concentrado	Colombia
Pa	Pasta de tomate	Chile



Figura 12. Derivados de tomate de origen europeo



Figura 13. Derivados de tomate de origen americano

3.2. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES

Los tomates triturados evaluados en este estudio (**apartado 4.2**) se han elaborado en la Nave de Industrias Agrarias y Alimentarias, situada en el edificio de Ampliación de la Escuela Politécnica Superior de Lugo. La nave cuenta con una superficie útil de 223.47 m² y se divide en cinco secciones:

- **Zona de fabricación**

Estancia dedicada a desarrollar las actividades del proceso productivo. Posee una superficie útil de 73.88 m². Además del acceso principal, dispone de otra zona del taller.

- **Laboratorio**

Se comunica directamente con la sala de fabricación, la sala de calderas y la sala de compresores. Tiene una superficie de 11.13 m².

- **Sala de calderas**

Situada en la zona anterior de la nave. Consta de una superficie útil de 31.92 m² y con dos accesos; uno directo desde el exterior y otro desde el interior del recinto dedicado a laboratorio.

- **Sala de compresores**

Situada en la zona anterior de la nave y con un acceso desde el corredor central de la planta inferior. La superficie útil de la misma es de 25.80 m² y en ella se encuentran los equipos de generación y tratamiento de aire comprimido y los compresores y condensadores de las cámaras frigoríficas.

- **Zona de taller**

Esta zona está dedicada a la construcción de los equipos que se usarán en la zona de fabricación. La superficie útil es de 73.86 m². Está comunicado con la sala de fabricación y directamente con el exterior.

3.2.1. Instalación de aire comprimido

El elemento fundamental de la fase de generación de aire comprimido es el grupo de compresión (**Figura 14**). Este elemento aspira el aire atmosférico de su entorno, elevando su presión y alimenta el depósito de almacenamiento y la canalización general. A continuación, se describen cada una de las unidades que conforman este sistema.



Figura 14. Sistema de generación de aire comprimido

Grupo de compresión

Compresor rotativo de paletas accionado por un motor de 5 CV, con regulación por arranque y parada. El caudal suministrado a la red se adapta al consumo de los diferentes elementos de trabajo de la planta por medio del acumulador. La presión del sistema se regula desde éste entre dos valores mínimo y máximo, que son captados por un presostato que envían la señal de arranque y parada al contactor del motor eléctrico de accionamiento del compresor (**Serrano, 1997**).

Refrigerador posterior

Refrigerador posterior aire-aire dotado de un separador de condensados y de un sistema de purga automático (**Arbones y col., 2001**).

Depósito o acumulador

Consiste en un recipiente a presión con válvula de seguridad, manómetro, boca de limpieza y sistema de purga automático (**Arbones y col., 2001**). Las funciones del depósito son:

- ❖ Adaptar el caudal proporcionado por los equipos de generación de aire a presión a los consumos de la red.
- ❖ Acumular la cantidad de aire a presión necesaria para mantener en marcha durante un cierto tiempo los equipos neumáticos en caso de faltar el fluido eléctrico que alimenta el compresor, así como evitar arranques frecuentes del mismo.
- ❖ Absorber las fluctuaciones de presión originadas en los generadores.
- ❖ Hacer de refrigeradores del aire y también de condensadores de la humedad del aire (**Serrano, 1997**).

Secador frigorífico

Los secadores son elementos que separan automáticamente la humedad del aire comprimido en un grado suficiente para evitar que se produzcan posteriores condensaciones en el circuito. El secador frigorífico de la instalación trabaja con un punto de rocío a la presión de trabajo de 2 °C, garantizando un alto grado de secado del aire comprimido (**Guillen, 1988**).

Filtros

Se encargan de retener las impurezas que posee el aire (**Serrano, 1997**). Se distinguen por su grado de filtración y su capacidad para la retención del aceite, un contaminante del aire generado durante la compresión. La instalación utilizada dispone de

un filtro de polietileno de alta densidad de 10 μm , un microfiltro de fibras de borosilicatos de 0.01 μm y un filtro de carbón activado para absorber volátiles que pudieran conferir a los alimentos olores o sabores desagradables (**Arbones y col., 2001**). La filtración, junto con el secado, confiere al aire aptitud para ser utilizado en contacto con los alimentos, y elimina otros contaminantes que pudieran afectar a la seguridad de la producción en las zonas de fabricación.

Red de distribución

La red de distribución del aire comprimido tiene la misión de transportar el aire desde la sala de compresores hasta los equipos que lo consumen (**Serrano, 1997**). Tras el secado y la filtración, las tuberías principales son de acero inoxidable estirado de $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro nominal. Las tuberías de servicio son del mismo material, de $\frac{1}{2}$ de pulgada, o de polímeros semi-rígidos como nylon en los equipos móviles.

3.2.2. Instalación eléctrica

Se trata de una instalación trifásica de 230/400 V de 50 Hz de frecuencia. En la llegada de la corriente a la nave de procesamiento existen dos cuadros eléctricos, uno que distribuye la instalación de fuerza y otra la instalación de alumbrado. Del cuadro general, una línea va al cuadro secundario de la sala de fabricación, de la que parte la instalación de ésta, por medio de una canalización eléctrica en superficie bajo tubo de PVC de 32 mm de diámetro. Los diversos equipos son alimentados a través de cuadros que disponen de las protecciones correspondientes.

3.2.3. Instalación de fontanería

Consta de acero inoxidable de 20 mm de diámetro nominal, con válvulas de corte y filtros previos para la eliminación de impurezas

3.2.4. Instalación de frío

Compuesta por tres cámaras frigoríficas, una de conservación de productos congelados (2660 Fr/h a -30°C), y dos de refrigeración (0 a 8°C y 2545 Fr/h).

Las cámaras frigoríficas (**Figura 15**) están situadas en la zona de fabricación y tienen unas dimensiones interiores de 2.0 x 2.4 x 2.5 m. Los paramentos están constituidos por paneles prefabricados tipo sándwich formados por una capa de 12 cm, de poliuretano inyectado de 40 kg/m³ situado entre dos chapas de acero galvanizado y lacado en las caras vistas.



Figura 15. Cámaras frigoríficas

3.2.5. Instalación de vapor

Constituida por una caldera de gasoil de 300 kg/h (**Figura 16**) y una presión de diseño de 8 bar, depósito de agua de alimentación de la caldera, equipo de tratamiento del agua de alimentación, depósito de gasoil y red de abastecimiento de vapor y retorno de condensados realizado en acero negro estirado DIN 2440 con diámetros comprendidos entre 20 y 32 mm de diámetro nominal y aisladas con coquillas de lana mineral.



Figura 16. Caldera

3.3. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS

3.3.1. Equipo de lavado

El equipo está construido en acero inoxidable AISI 304 (**Figura 17**) dispone de un doble fondo en chapa de acero con perforaciones de 0.5 mm de diámetro, una entrada de aire comprimido de calidad alimentaría que se aplica a una presión de 7 bar a través de cuatro manguitos de $\frac{1}{4}$ de pulgada distribuidos uniformemente a 17 cm del fondo de la estructura y una válvula de vaciado de una pulgada situada en el fondo de la estructura.



Figura 17. Equipo de lavado

3.3.2. Equipo corta hortalizas

Equipo utilizado para formar dados de tomate de 1x1 cm, construido en acero inoxidable, equipado con una rejilla y un disco cortador (**Figura 18**), alimentado por un motor eléctrico trifásico de 400 V / 50 Hz.



Figura 18. Equipo corta hortalizas

3.3.3. Escaldador

Este equipo ha sido diseñado y construido por el grupo de investigación (**Martínez, 2005**). La función del escaldador es incrementar la temperatura del alimento con el fin de reducir la actividad de la enzima polimetilesterasa presente en los frutos de tomates que van a ser procesados y suministrar un producto caliente a los envases, lo que facilita el agotamiento del espacio de cabeza y contribuye a la elaboración de un producto más higiénico.

Se trata de un escaldador cilíndrico de 8 L de capacidad construido en acero inoxidable AISI 304 con uniones soldadas mediante procedimiento TIG (**Figura 19**). Es alimentado por vapor a 3 bar con calentamiento indirecto mediante una camisa a través de la que el calor se transfiere del vapor que condensa al alimento. Los condensados generados se eliminan mediante un purgador, que lo elimina a medida que van siendo generados manteniendo la presión de trabajo.

El sistema regulación de temperatura es manual mediante el accionamiento de una válvula modulante que regula el caudal de vapor suministrado al equipo controlando así la temperatura del producto. El seguimiento de ésta se consigue a partir de las lecturas tomadas de un termómetro digital con sonda pT100 y un termómetro analógico bimetalico para contraste de las medidas.

El escaldador va provisto de un agitador-rascador mecánico accionado por un motor eléctrico de 100 W provisto de un reductor hasta una velocidad de 50 rpm, compatible con el tipo de producto a tratar. Las funciones del agitador son aumentar la velocidad de transferencia de calor, homogenizar el producto, evitando su separación en fases y evitar que éste se adhiera a las superficies de calefacción por rascado de éstas, lo que modificaría sus propiedades. El escaldador dispone de una válvula para la toma de muestras en su parte inferior.



Figura 19. Escaldador

3.3.4. Equipo de trituración

Este equipo dispone de un recipiente de acero inoxidable de 5.5 L, provisto de una cuchilla en su fondo, que es accionada por un motor eléctrico trifásico 230 x 400 V/ 50 Hz. Cuenta con dos velocidades de rotación de 1500 y 3000 rpm (**Figura 20**).



Figura 20. Equipo de trituración

3.3.5. Autoclave vertical

Este equipo de esterilización ha sido diseñado y construido por el grupo de investigación (**Martínez, 2005**). Se trata de un autoclave vertical cilíndrico de 75 L de capacidad construido en acero al carbono, provisto de un cestón de chapa de acero inoxidable perforada para situar los envases a esterilizar. El accionamiento es manual y está alimentado por vapor, con posibilidad de regular la presión de 0 a 6 bar (**Figura 21**).

Se trata de un equipo convencional de esterilización con regulación automática de temperatura provisto de los siguientes sistemas:

- Desaireador para eliminar el aire existente en el equipo.
- Sistema de purga y desagüe para eliminar los condensados y el agua de enfriamiento.
- Sistemas de regulación y medida constituido por:
 - ❖ Una válvula modulante motorizada para la regulación del caudal de vapor introducido en el equipo.
 - ❖ Un regulador digital BAELZ electrónico para el control de la válvula motorizadas, gobernado por un microprocesador CELSITRON a partir de la señal procedente de la sonda situada en el exterior de los envases.
 - ❖ Una sonda pt100 en el exterior de los envases, en el interior del autoclave, para control de temperatura, conectada al regulador que controla la válvula modulante.
 - ❖ Dos sondas pT100 situadas en el interior de sendos envases, como contraste y por seguridad en caso de rotura o cierre defectuoso de uno de ellos. Con ellas se realiza el seguimiento de la esterilización, a través de dos termómetros digitales de 1 °C de precisión.
 - ❖ Un termómetro bimetálico y un manómetro analógicos para contraste.
- Sistema de entrada de agua de enfriamiento a temperatura variable y distribución de ésta en el interior del equipo mediante rociadores. Se inicia la fase de enfriamiento con agua caliente, a 90 °C, para evitar roturas de los envases. El agua penetra en el autoclave al finalizar el ciclo de esterilización impulsada por una bomba centrífuga de cuerpo vertical de acero inoxidable, accionada por un motor asíncrono trifásico de 1.5 kW de potencia, con un caudal de 4 m³/h a una presión de 6 bar.
- Sistema de suministro de aire comprimido durante el enfriamiento, para contrarrestar la presión interior de los botes cuando la del interior del autoclave desciende como consecuencia de la entrada del agua de enfriamiento.



Figura 21. Autoclave vertical

3.3.5.1. Tratamiento de esterilización

El tratamiento de esterilización aplicado al tomate triturado elaborado en este estudio se diseñó considerando los siguientes elementos:

- Envases de vidrio de forma cilíndrica de 370 mL.
- Utilización del valor de letalidad equivalente de $F_0 = 0.11$ minutos a 120 °C con valor de $z = 10$ °C registrado por **Anese y col. (2002)**. Este valor de esterilización es comúnmente utilizado por la industria del tomate para inactivar las esporas del *Clostridium pasterianum* y *Bacillus coagulans* microorganismos responsables del deterioro de este tipo de alimentos.
- Realización del perfil de temperatura del autoclave y del punto más frío de la conserva de tomate triturado al instalar un termopar a un tercio de la altura del envase, altura teórica recomendada para alimentos, en los que el calor, se transfiere por convección. Los valores experimentales f_h y j_h se calculan utilizando la formula de Ball, que permite linealizar la curva de penetración de calor (**Noronha y col., 1995**).

$$\log \left(\frac{T_1 - T}{T_1 - T_o} \right) = \log j_h - \frac{t}{f_h}$$

Siendo:

T_1 = temperatura del vapor en la autoclave en °C.

T = temperatura del alimento en °C en el tiempo t .

T_o = temperatura inicial del alimento en °C.

j_h = factor de retraso del calentamiento.

t = tiempo en minutos.

f_h = representa la pendiente de la curva de penetración de calor en la zona de calentamiento y es numéricamente igual al número de minutos necesarios para que los valores de transmisión de calor alcancen el siguiente ciclo logarítmico.

- Estimación del tiempo de procesamiento térmico utilizando la expresión utilizada por **Taiwo y col. (1997)**

$$B = f_h (\log [j_h (T - T_o)] - \log g)$$

Siendo:

B = tiempo de procesamiento térmico en minutos.

T = Temperatura de esterilización del autoclave en °C.

T_o = Temperatura inicial del alimento en °C.

g = diferencia de temperatura entre el alimento y el medio de calentamiento al desconectar el vapor.

3.4. DETERMINACIONES ANALÍTICAS

Todos los análisis físico-químicos se han realizados por duplicado, salvo el calibre, el peso, la firmeza, el pH, la acidez total, el color $CIE_{L^*a^*b^*}$ y la actividad de agua (A_w) que se han determinado por triplicado.

3.4.1. Determinación del peso

Principio

Determinar el peso individual de los tomates utilizando una balanza electrónica

Material y aparatos

- Balanza electrónica, Adam Equipment modelo ADP 3100/L.

Procedimiento

Se determina el peso (g) de los tomates tomados al azar de cada muestra.

3.4.2. Determinación del calibre

Referencia: **Reglamento (CE) 790/ 2000**

Principio

Medir el diámetro máximo de la sección ecuatorial.

Material y aparatos

- Pie de rey, con escala de 0 a 15 cm con una sensibilidad de 0.10 cm.

Procedimiento

Se mide el diámetro individual en los tomates tomados al azar de cada muestra, expresado el resultado en cm.

3.4.3. Determinación de la firmeza

Referencia: **Romero (1991)**

Principio

Medir la resistencia que ofrece el tejido del fruto a la acción de una fuerza externa mediante la penetración de un émbolo.

Material y aparatos

- Penetrómetro (Bertuzzi FT 327-65096) consta de una escala, de 0 a 13 kg, con una sensibilidad de 0.10 kg. Lleva como accesorio dos discos cuyos diámetros son de $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ de pulgada

Procedimiento

En primer lugar se ajusta la escala del penetrómetro a 0, mediante un tornillo que tiene a tal efecto y ejerciendo una ligera presión entre la punta del émbolo y la palma de la mano. A continuación, la mano que contiene el tomate se coloca sobre una superficie dura y horizontal, con el fin de ejercer la menor fuerza posible sobre la misma. Con la otra mano se introduce el penetrómetro en el fruto en posición perpendicular, obteniéndose así la medida en kg. Se realiza la medida en tres puntos de cada tomate por muestra.

3.4.4. Determinación del pH

Referencia: **Porretta y Poli (1993)**

Principio

Medida de la diferencia de potencial entre dos electrodos a 25 °C, utilizando un medidor automático calibrado con patrones primarios de pH.

Material y aparatos

- Agitador termomagnético, Velp Scientifica.
- Balanza electrónica, Adam Equipment modelo ADP 3100/L.
- Electrodo de vidrio, Crison modelo 52-02.
- Picadora, Moulinex modelo D56.
- Material de vidrio de uso en laboratorio.
- Medidor automático de pH, Crison modelo GLP 21.
- Baño termostatzado, Tectron modelo 200.

Reactivos

- Agua destilada.
- Disolución tampón pH 7.00 a 25 °C. Crison Cód. 23-111-02.
- Disolución tampón pH 4.01 a 25 °C. Crison Cód. 23-112-02.

Procedimiento

Previamente, se calibra el medidor automático de pH con las dos soluciones tampón de pH 7.00 y pH 4.01. A continuación, 5 g de muestra homogenizada se mezclan con 50 mL de agua destilada. Posteriormente, la muestra se agita, se sumergen los electrodos en la misma y se realiza la lectura del pH

3.4.5. Determinación de acidez total

Referencia: **Porretta y Poli (1993)**

Principio

La concentración de los ácidos orgánicos: acético, cítrico, láctico y málico, se estima mediante la titulación de una muestra del alimento con hidróxido de sodio hasta un pH final de 8.1.

Material y aparatos

- Agitador termomagnético, Velp Scientifica.
- Balanza electrónica, Adam Equipment modelo ADP 3100/L.
- Bureta de 25 mL, Pirex.
- Electrodo de vidrio, Crison modelo 52-02.
- Picadora, Moulinex modelo D56.
- Material de vidrio de uso en laboratorio.
- Medidor automático de pH, Crison modelo GLP 21.
- Baño termostatzado, Tectron modelo 200.

Reactivos

- Agua destilada.
- Hidróxido de sodio. Panreac Cód 141687.1214.
- Solución de hidróxido de sodio 0.1N.
- Ácido clorhídrico 0.1 N. Panreac Cód. 171023.12.

Procedimiento

Se pesan 5 g de la muestra homogenizada se mezclan con 50 mL de agua destilada, hasta obtener una disolución uniforme. Se determina el pH de esta solución y posteriormente se titula con hidróxido de sodio 0.1 N hasta llegar a pH 8.1.

Cálculos

$$\text{Acidez total (g de ácido cítrico/100 g de materia fresca)} = \frac{V * f * N * 6.404}{P}$$

Siendo:

V = volumen, en mL de la solución de NaOH consumido en la valoración.

N = normalidad de la solución de NaOH.

P = peso, en gramos, de la muestra.

f = factor del hidróxido de sodio.

3.4.6. Determinación del porcentaje de pulpa húmeda (PPH)

Referencia: Caradec y col. (1985) y Haley y Smith (2003)

Principio

Someter una muestra a la acción de la fuerza centrífuga para lograr separar dos fases: una que contiene las sustancias hidrosolubles (vitaminas, azúcares, proteínas, ...) y otra formada por las sustancias insolubles, especialmente componentes de la pared celular (celulosa, hemicelulosa, pectina, lignina, ...)

Material y aparatos

- Balanza analítica, Scaltec modelo SBA 31.
- Tubos de policarbonato, Kontron modelo 909190236.
- Ultracentrifuga, Centrikon modelo T-2070 con rotor TFT 70.38-906590027.

Procedimiento

Se taran los tubos y, a continuación, se pesan aproximadamente, 25 g de muestra y se centrifugan a 12700 rpm a 4 °C durante 30 minutos. Posteriormente, se recolecta el sobrenadante, invirtiendo los tubos durante tres minutos y se procede a pesar el precipitado contenido en los mismos. Los resultados se expresan en porcentaje de pulpa húmeda.

Cálculos

$$\% \text{ PPH} = \left(\frac{P_2 - P_1}{P_m} \right) * 100$$

Siendo:

P_1 = peso, en gramos, de los tubos.

P_2 = peso, en gramos, de los tubos mas el precipitado.

P_m = peso, en gramos, de la muestra.

3.4.7. Determinación de los sólidos solubles

Referencias: **Porretta y Poli (1993)** y **Moraru y col. (2004)**

Principio

Estimar el contenido de sólidos solubles por refractometría, siendo éste el porcentaje de peso de sacarosa de una solución acuosa de sacarosa que, en determinadas condiciones, presenta el mismo índice de refracción que el producto analizado.

Material y aparatos

- Tubos de policarbonato, Kontron modelo 909190236.
- Ultracentrifuga, Centrikon modelo T-2070 con rotor TFT 70.38-906590027
- Refractómetro 0-32% Brix. Laboran.
- Refractómetro 0-80% Brix. Zuzi.
- Termómetro digital, Checktemp 0-100 °C.

Procedimiento

En los tomates en fresco se extraen unas gotas de zumo y colocan entre los prismas del refractómetro realizando la lectura directamente. En el tomate triturado y los productos de tomate comerciales esta variable se mide tomando unas gotas del sobrenadante residual obtenido en la determinación del PPH. Los valores han sido corregidos de acuerdo a la temperatura y al contenido de cloruro de sodio en el caso de las conservas.

3.4.8. Determinación de la actividad de agua (A_w)

Referencias: **Jaya y Das (2005)**

Principio

Medida del agua disponible mediante un higrómetro que determina el punto de rocío en la muestra a analizar.

Material y aparatos

- Cubetas de plástico de 4 cm de diámetro.
- Picadora, Moulinex modelo D56.
- Medidor de actividad de agua, Aqua Lab Modelo CX-2 Decagon Devices, Inc (ref. 0492614).

Procedimiento

Se estabiliza el medidor manteniéndolo en funcionamiento entre 15 y 30 minutos antes de realizar la medida. Se introducen aproximadamente 2-3 g de muestra en las cubetas, presionando con ayuda de una espátula hasta lograr una capa uniforme que cubra el fondo sin sobrepasar la mitad de su altura. Las cubetas se introducen en la cámara de medida y, al cabo de unos minutos, se leen los valores de actividad de agua y de temperatura.

3.4.9. Determinación de los sólidos totales

Referencia: **Simal y col. (1986)**

Principio

La técnica utilizada es la liofilización, este tratamiento se basa en la eliminación de agua tras su congelación y posterior sublimación del hielo formado.

Material y aparatos

- Picadora, Moulinex modelo D56.
- Balanza electrónica, Adam Equipment modelo ADP 3100/L.
- Equipo de liofilización, modelo Labconco 77535-01, con bomba de vacío RV5 BocEdwards.
- Bandejas de aluminio.

Procedimiento

Una vez homogenizada la muestra, se codifican las bandejas y se taran. Después se añade la muestra y se registra el peso. Por último, se congelan las bandejas y se someten al proceso de liofilización. Finalizado el proceso, se vuelven a pesar las bandejas. El contenido de sólidos totales se expresa en g/100 g de materia fresca.

Cálculos

$$\% \text{ Sólidos totales (ST)} = \left(\frac{P_3 - P_1}{P_2} \right) * 100$$

Siendo:

P_1 = peso, en gramos, del recipiente vacío.

P_2 = peso, en gramos, de la muestra triturada en fresco.

P_3 = peso, en gramos, del recipiente con la muestra liofilizada.

3.4.10. Determinación de cenizas totales

Referencia: **Harbers (1994)**

Principio

Calcinación de la muestra en una mufla a 550 ± 20 °C hasta la obtención de cenizas blanco-grisáceas.

Material y aparatos

- Balanza analítica, Scaltec modelo SBA 31.
- Cápsulas de porcelana.
- Desecador, Simax.
- Horno eléctrico de Mufla, Hobersal modelo HD-230.

Procedimiento

Se pesan aproximadamente 0.5 g de muestra liofilizada en cápsulas que han sido previamente calcinadas a 550 °C durante 3 horas. Las muestras se incineran a 550 °C durante 12-18 horas hasta la obtención de cenizas blancas o blanco-grisáceas. Las cápsulas se llevan a un desecador, se dejan enfriar hasta temperatura ambiente y se pesan nuevamente. El contenido de cenizas totales se expresan en g/100 g materia fresca.

Cálculos

$$\% \text{ Cenizas totales} = \left[\frac{(P_2 - P_1)}{P_m} \right] * ST$$

Siendo:

P_1 = peso, en gramos, de la cápsula.

P_2 = peso, en gramos, de la cápsula más cenizas.

P_m = peso, en gramos, de la muestra liofilizada.

ST= sólidos totales presentes en la muestra.

3.4.11. Determinación de cloruro sódico

Referencias: **Norma UNE 34218/1981** y **Board (1989)**

Principio

Precipitación de los cloruros por adición de un exceso de solución titulada de nitrato de plata y valoración de este exceso con una solución titulada de tiocianato potásico.

Material y aparatos

- Agitador termomagnético, Velp Scientifica.
- Balanza analítica, Scaltec modelo SBA 31.
- Bureta de 25 mL, Pyrex.
- Material de vidrio de uso en el laboratorio.

Reactivos

- Agua destilada.
- Ácido nítrico. Panreac Cód. 133255.1611.
- Nitrato de plata 0.1 N. Panreac Cód. 181464.1211.
- Tiocianato de potasio 0.1 N. Panreac Cód. 18111535.1211.
- Sulfato férrico amónico 99%. Probus Cód. 092420.
- Solución acuosa saturada de sulfato férrico amónico.

Procedimiento

Se pesan alrededor de 1.5 g de muestra liofilizada y se mezclan con 25 mL de AgNO_3 y 20 mL de HNO_3 . Se mantienen en ebullición durante 15 minutos, se enfrían a 25 °C y, seguidamente, se adicionan 50 mL de agua destilada y 5 mL de sulfato férrico amónico saturado como indicador, valorándose con tiocianato de potasio 0.1 N. El contenido de cloruro de sodio se expresan en g/100 g de materia seca.

Cálculos

$$\% \text{ Cloruro de sodio} = \frac{(25 - V) * N * 5.844}{P}$$

Siendo:

V= volumen, en mL, de la solución de tiocianato consumido en la valoración.

N= normalidad de la solución de tiocianato de potasio.

P = peso, en gramos, de la muestra.

3.4.12. Determinación de materia insoluble en alcohol (MIA)

Referencia: **Vázquez y col. (1993)**

Principio

Método basado en la insolubilidad en etanol de los componentes de la pared celular: lignina, celulosa, hemicelulosa y sustancias pécticas.

Material y aparatos

- Balanza analítica, Scaltec modelo SBA 31.
- Equipo de reflujo.
- Agitador termomagnético, Velp Scientifica.
- Estufa de laboratorio termostatzada, Indelab.
- Papel filtro, Albet 135.
- Material de vidrio de uso en el laboratorio.
- Placas Petri de 9 cm de diámetro.

Reactivos

- Etanol 96%. Panreac Cód. 141085.1212.
- Solución de etanol al 80%.

Procedimiento

Se pesa 1 g de muestra liofilizada que se lleva a reflujo con 125 mL de etanol al 80% (v/v) durante 3 minutos. Posteriormente, se filtra y se lava la fase insoluble con 2 volúmenes de 25 mL de etanol. El residuo obtenido se seca en estufa a 37 °C durante 12 horas y se pesa hasta peso constante. El contenido de MIA se expresan en g/100 g de materia seca.

Cálculos

$$\% \text{ MIA} = \left(\frac{P_2 - P_1}{P_m} \right) * 100$$

Siendo:

P_1 = peso, en gramos, de la placa de petri más el filtro.

P_2 = peso, en gramos, de la placa de petri más el filtro y el residuo seco.

P_m = peso, en gramos, de la muestra liofilizada.

3.4.13. Determinación del color $CIE_{L^*a^*b^*}$

Referencias: **Barreiro y col. (1997)** y **Caputo y col. (2004)**

Principio

Medida del color directamente sobre la muestra, con un espectrofotómetro de reflexión que realiza las medidas de reflectancia espectral entre 400 y 770 nm (para el iluminante D_{65} , observador 10°), en intervalos de 20 nm, proporcionando datos colorimétricos en diversos espacios de color.

Materiales y aparatos

- Espectrofotómetro de reflexión, X-RITE, modelo 968.
- Cubetas de plástico de 4 cm de diámetro.

Procedimiento

En las muestras de tomate fresco se efectúa la medida directa en los tomates en tres puntos diferentes de cada uno de ellos. En los derivados de tomate se deposita una muestra en una cubeta de plástico y se procede a efectuar la medida directa del color con el espectrofotómetro de reflexión en tres puntos diferentes. Las coordenadas colorimétricas, L^* , a^* y b^* , se obtienen directamente. Como blanco de referencia se utiliza una placa estándar de cerámica (Nº C4148606p-00808) ($L= 94.71$, $a= -1.20$, $b=+1.42$).

Cálculos

A partir de a^* y b^* se calcula además de la relación a^*/b^* :

La cromaticidad: $C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$

El tono: $H^\circ = \tan^{-1} (b^*/a^*)$

3.4.14. Determinación de la consistencia

Referencia: **Moraru y col. (2004)**

Principio

Medir la distancia recorrida en cm por un volumen estándar de muestra que fluye debido a su propio peso a una temperatura constante en un tiempo de 30 s.

Materiales y aparatos

- Consistómetro de Bostwick, CSC Scientific, 1-800-458-2558.
- Picadora, Moulinex modelo D56.
- Termómetro digital, Checktemp 0-100 °C.
- Baño termostatzado, Tectron modelo 200.
- Material de vidrio de uso en el laboratorio.

Procedimiento

Se toman, aproximadamente, 80 mL de la muestra a 25 °C, previamente triturada y homogeneizada en el caso de tomate fresco y directamente en la conserva de tomate triturado. Después de 30 s, se mide la distancia recorrida por la muestra en cm en el consistómetro de Bostwick (**Figura 22**).



Figura 22. Consistómetro de Bostwick

3.4.15. Determinación del total de sustancias pécticas (TSP)

Referencia: **McCready y McComp (1952)**

Principio

Reacción de los ácidos urónicos con el ácido sulfúrico para formar el ácido 5-formil-2-furancarboxílico (5FF). El 5FF reacciona con el carbazol para formar productos coloreados que tienen un máximo de absorbancia a 525 nm.

Materiales y aparatos

- Balanza analítica, Scaltec modelo SBA 31.
- Espectrofotómetro ultravioleta/visible de doble haz, Jasco modelo V-530 con Software Spectra Manager para Windows 95/NT, Jasco.
- Cubetas de cuarzo de 3.5 mL, Hellma tipo 100.600-QG de 1 cm.
- Baño termostatzado, Tectron modelo 200.
- Material de vidrio de uso en el laboratorio.
- Vortex, Velp Scientifica.
- Micropipeta de 20 μ L, Nichiryo modelo A85022351.
- Micropipeta de 200 μ L, Gilson modelo P75085L.
- Micropipeta de 1000 μ L, Gilson modelo P73845L.

Reactivos

- Agua destilada.
- Carbazol. Merk Cód. 820255.0005.
- D-(+)-Ácido galacturónico. Fluka Cód. 48280.
- Oxalato de amonio 1-hidratado 99.5%. Panreac Cód.131136.1210.
- Ácido sulfúrico 96%. Panreac Cód. 131058.
- Hidróxido de sodio. Panreac Cód. 141687.1214.
- Ácido clorhídrico 0.1 N. Panreac Cód. 171023.12.
- Solución de oxalato de amonio en agua 1%.
- Solución de hidróxido de sodio 0.05 N.
- Solución de carbazol 0.15% en etanol (p/v).
- Solución de ácido clorhídrico 0.05 N.

Procedimiento

Se pesan entre 10 y 20 mg de MIA, se mezclan con 2 μ L de NaOH 0.05 N y se llevan a 100 mL con agua destilada. Esta solución se incuba a 30 °C durante 30 minutos. Se toma 1 mL de la solución anterior, se le adicionan 0.5 mL de carbazol al 0.15% y 6 mL de ácido sulfúrico concentrado. Se agita en un vortex durante 1 minuto y se lleva a 85 °C en el baño termostatzado durante 5 minutos. Transcurrido este tiempo, se reduce la temperatura hasta 25 °C y se realiza la lectura en el espectrofotómetro a 525 nm frente a un blanco.

Cálculos

La concentración del total de sustancias pécticas (g de ácido galacturónico/100 g de materia seca), en las muestras se determina mediante una recta de calibración ($R^2=0.9992$), construida a partir de cinco alícuotas de 0.5, 1, 3, 6 y 8 mL de una solución de ácido galacturónico (2.79×10^{-4} g/mL) en 10 mL de agua destilada (**Figura 23**). Los coeficientes de variación (CV) del método y la medida obtenidos son 2.46% y 1.79%, respectivamente (**Tabla 6**).

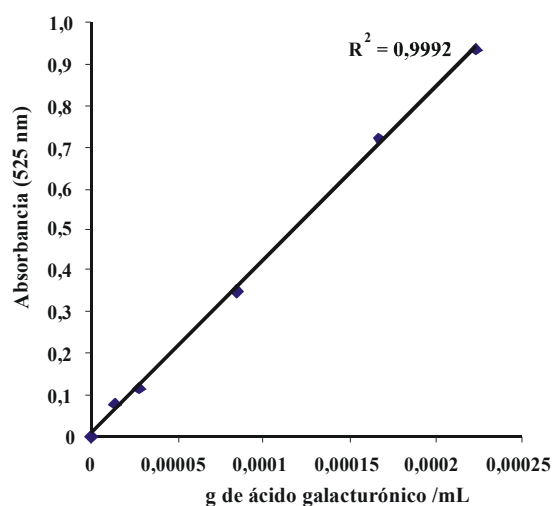


Figura 23. Recta de calibración del ácido galacturónico

Tabla 6. Coeficientes de variación del método y la medida en la determinación de total de sustancias pécticas

Muestra	g ácido galacturónico/100 g de materia seca	
1	15.14	16.00
2	15.32	15.87
3	15.54	15.68
4	16.22	15.91
5	15.28	16.18
6	15.04	15.85
7	15.61	16.28
8	15.16	15.37
Promedio	15.41	15.89
DS	0.37	0.28
CV (%)	2.46	1.79
	Método	Medida

3.4.16. Determinación del 5-hidroximetil-2-furfural (HMF)

Referencias: **Porreta y Sandei (1991)** y **Min y Zhang (2003)**

Principio

Se basa en la utilización del ácido tiobarbitúrico, el cual tienen la capacidad de reaccionar con el 5-hidroximetil-2-furfural desarrollando una coloración roja, cuya intensidad es proporcional a la concentración de 5-hidroximetil-2-furfural presente en la muestra.

Materiales y aparatos

- Balanza analítica, Scaltec modelo SBA 31.
- Espectrofotómetro ultravioleta/visible de doble haz, Jasco modelo V-530 con Software Spectra Manager para Windows 95/NT, Jasco.
- Baño termostatzado, Tectron modelo 200.
- Material de vidrio de uso en el laboratorio.
- Papel filtro, Albert 135.
- Agitador termomagnético, Velp Scientifica.
- Filtros de jeringa de nylon de 0.2 µm, Waters.
- Cubetas de cuarzo de 3.5 mL, Hellma tipo 100.600-QG de 1 cm.
- Micropipeta de 200 µL, Gilson modelo P75085L.
- Micropipeta de 1000 µL, Gilson modelo P73845L.

Reactivos

- Agua destilada
- 5-Hidroximetil-2-furfural (HMF) 99%. Sigma Cód. H-9877.
- Ácido tricloroacético (TCA). Panreac Cód. 131067.
- 2-Ácido tiobarbitúrico (TBA) 98%. Sigma Cód. T-5500.
- Potasio hexacianoaferrato (II) 3-hidratado. Panreac Cód. 1311505.1210.
- Acetato de zinc 2-hidrato. Panreac Cód. 131775.
- Reactivo Carrez I: solución potasio hexacianoaferrato (II) 3-hidratado 15% (w/v).

- Reactivo Carrez II: solución de acetato de zinc, 30% (w/v).
- Solución de ácido tiobarbitúrico (TBA) 0.025 mol/L.
- Solución de ácido tricloroacético (TCA) 120 g/kg.

Procedimiento

Se pesan 5 g de muestra, se les adicionan 2 mL de Carrez I y 2 mL de Carrez II y se enrasa a 100 mL con agua destilada. A continuación, se agita la solución durante 5 minutos en un agitador magnético. El contenido del matraz se filtra a través de papel y, posteriormente, mediante filtro de nylon de 0.2 μm . Se toman 2 mL del filtrado y se mezclan con 2 mL de ácido tricloroacético y 2 mL de ácido tiobarbitúrico. Seguidamente, se llevan los tubos a una temperatura de 40 °C en el baño termostatzado durante 50 minutos e, inmediatamente, se enfrían a 25 °C. Se mide la absorbancia de las muestras a 443 nm frente a un blanco en el espectrofotómetro.

Cálculos

La concentración de HMF, (mg/kg de materia fresca), se determina a partir de la recta de calibración ($R^2 = 0.9993$) previamente obtenida a partir de seis alícuotas de 0.4, 1, 2, 3.5, 5 y 7 mL de una solución del patrón HMF (21 mg/L) llevadas a 10 mL con agua destilada (**Figura 24**). El coeficiente de variación (CV) del método y la medida obtenido es de 1.94% y 0.83%, respectivamente (**Tabla 7**).

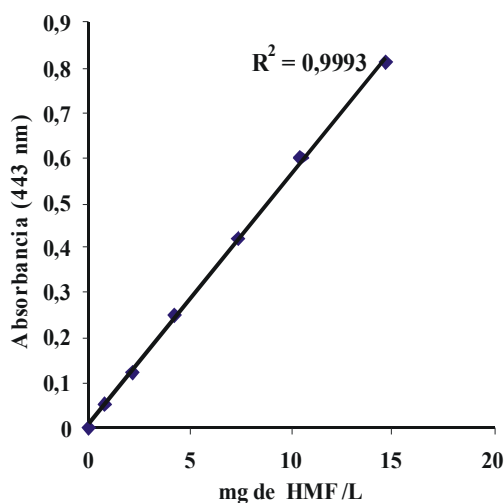


Figura 24. Recta de calibración del HMF

Tabla 7. Coeficientes de variación del método y la medida en la determinación de HMF

Muestras	mg/kg peso fresco	
1	7.83	7.30
2	7.65	7.33
3	7.51	7.30
4	7.85	7.33
5	7.60	7.17
6	7.87	7.28
7	7.85	7.26
8	7.56	7.19
Promedio	7.72	7.27
DS	0.15	0.06
%CV	1.94	0.83
	Método	Medida

3.4.17. Determinación de los compuestos fenólicos totales

Referencias: Spanos y Wrolstad (1990), Velioglu y col. (1998), Valverde y col. (2002), Kim y col. 2005 y Toor y col. (2006a)

Principio

Utilización del reactivo propuesto por Otto Folin y Ventila Ciocalteu's, el cual tiene la capacidad de reaccionar, de forma completa y rápida, con sustancias oxidables en un medio alcalino, desarrollando una coloración azul, cuya intensidad es proporcional a la concentración de dichas sustancias en la muestra.

Materiales y aparatos

- Balanza analítica, Scaltec modelo SBA 31.
- Tubos de polialomeros, Kontron modelo 9190228.
- Ultracentrifuga, Centrikon modelo T-2070 con rotor TFT 70.38-906590027.
- Agitador orbital, IKA Labortechik modelo K S501.
- Espectrofotómetro ultravioleta/visible de doble haz, Jasco modelo V-530 con Software Spectra Manager para Windows 95/NT, Jasco.
- Baño termostatzado, Tectron modelo 200.
- Material de vidrio de uso en el laboratorio.
- Microcubetas de poliestireno de 2.5 mL, Dispolab Kartell.
- Vortex, Velp Scientifica.

- Micropipeta de 200 μ L, Gilson modelo P75085L.
- Micropipeta de 1000 μ L, Gilson modelo P73845L.

Reactivos

- Agua destilada.
- Ácido clorhídrico 0.1 N. Panreac Cód. 171023.12.
- Folin- Ciocalteu's fenol 2 N. Sigma Cód. F9252.
- Ácido gálico 98%. Acros Cód. 410862500.
- Bicarbonato de sodio. Probus Cód 170820.
- Metanol. Sharlau ME 0316.
- Solución de metanol al 80%.
- Solución de bicarbonato de sodio al 7.5% (w/v).
- Solución del reactivo Folin-Ciocalteus fenol 0.2 N.

Procedimiento

Se pesan 200 mg de tomate liofilizado y se mezclan con 2 mL de una solución acuosa de metanol del 80% (v/v) conteniendo 1% HCl (v/v). Las muestras se cubren con hielo en escamas y se agitan durante dos horas en agitador orbital a 200 rpm. Al concluir la agitación las muestras se centrifugan a 5000 rpm durante 5 minutos (**Velioglu y col., 1998; Valverde y col., 2002**). Una alícuota de 100 μ L del sobrenadante se mezcla con 0.9 mL de agua destilada y 5 mL del reactivo Folin- Ciocalteu's 0.2 N. Esta reacción se neutraliza con 4 mL de bicarbonato de sodio al 7.5% (w/v), y se agita en vortex durante 20 segundos (**Spanos y Wrolstad, 1990; Toor y col., 2006a**). Las muestras se incuban a 23 °C durante 90 minutos (**Kim y col., 2005**). La absorbancia de la solución se mide a 765 nm en el espectrofotómetro frente a un blanco.

Cálculos

La concentración total de compuestos fenólicos (mg de ácido gálico/100 g de materia fresca), se determina a partir de la recta de calibrado ($R^2=0.9943$), previamente obtenida a partir de cinco alícuotas de 0.2, 1, 2, 3, y 4 mL de una solución del patrón de ácido gálico (0.58 mg/mL) llevadas a 5 mL con la solución de metanol, el sexto punto corresponde a la solución patrón (**Figura 25**). Los coeficiente de variación (CV) del método y la medida obtenidos son de 2.56% y 0.76%, respectivamente (**Tabla 8**).

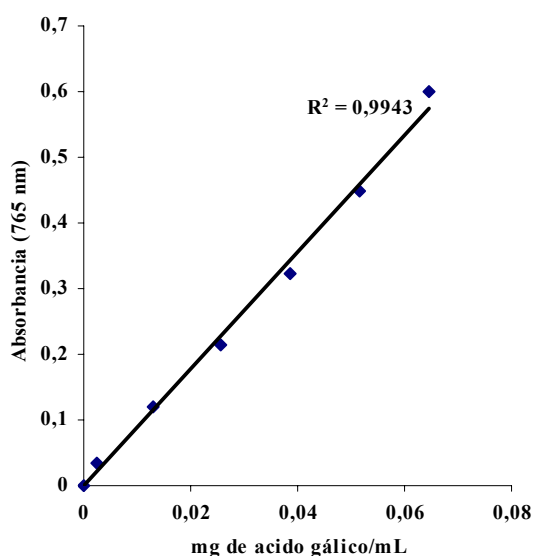


Figura 25. Recta de calibración del ácido gálico

Tabla 8. Coeficientes de variación del método y la medida en la determinación de compuestos fenólicos totales

Muestras	mg de ácido gálico/100 materia fresca	
1	18.23	17.84
2	17.84	18.15
3	18.48	18.08
4	17.46	17.96
5	17.77	17.81
6	17.66	17.92
7	17.39	17.94
8	18.61	17.74
Promedio	17.93	17.93
DS	0.46	0.14
%CV	2.56	0.76
	Método	Medida

3.4.18. Determinación de compuestos del color

a. Licopeno por espectrofotometría

Referencias: **Davis y col. (2003)** y **Lugasi y col. (2003)**

Principio

Extracción del licopeno en la muestra utilizando hexano y determinación espectrofotométrica de la absorbancia del extracto a 503 nm.

Materiales y aparatos

- Balanza analítica, Scaltec modelo SBA 31.
- Agitador termomagnético. Velp Scientifica.
- Agitador orbital. IKA Labortechik modelo K S501.
- Filtros de jeringa de nylon de 0.2 µm, Waters.
- Espectrofotómetro ultravioleta/visible de doble haz. Jasco modelo V-530 con Software Spectra Manager para Windows 95/NT Jasco.
- Material de vidrio de uso en el laboratorio.
- Embudos de separación de 250 mL.
- Cubetas de cuarzo de 3.5 mL. Hellma tipo 100.600-QG de 1 cm.
- Micropipeta 200 µL, Gilson modelo P75085L.
- Micropipeta 1000 µL, Gilson modelo P73845L.

Reactivos

- Licopeno. Sigma Cód. L9879.
- n-Hexano. Panreac Cód. 1220631612.
- Etanol 96%. Panreac Cód. 141085.1212.
- Acetona Panreac. Cód. 1310077.1612.
- 2.6-Di-tert-butil-4-metilfenol (BHT) 98%. Panreac Cód. 162825.1209.
- Agua destilada.
- Sodio sulfato anhidrido. Panreac Cód. 131716.

Procedimiento

Se pesan entre 2.5 y 6.0 g de muestra y se llevan a 100 mL con agua destilada. Se somete a agitación y se toma, 1 mL de la solución. Las alícuotas se depositan en tubos de vidrio que son cubiertos con papel de aluminio para evitar la fotooxidación del licopeno.

A continuación, se adicionan 10 mL de la solución de hexano/etanol/acetona (2:1:1 v/v/v), conteniendo 0.05% (w/v) de (BHT) en acetona. Posteriormente, los tubos cubiertos con hielo en escamas, se someten a la acción de un agitador orbital a 180 rpm durante 15 minutos. Una vez transcurrido este tiempo se adicionan 1.5 mL de agua destilada y se llevan nuevamente a agitación durante 5 minutos. Finalizado los 5 minutos, la fase orgánica superior es recolectada mediante un embudo de separación y desecada con Na_2SO_4 anhidrido. Se toman 2 mL, se aforan a 5 mL y se filtra mediante filtros de nylon de 0.2 μm . La absorbancia del extracto diluido en hexano se mide a 503 nm, utilizando el espectrofotómetro, frente a un blanco de hexano.

Cálculos

La concentración del licopeno (mg/100 g peso fresco) en las muestras se determina a través de una recta de calibración ($R^2=0.9998$) obtenida a partir de cinco alícuotas de 0.125, 0.25, 0.50, 0.75 y 1 mL de una solución patrón de licopeno (0.05 mg/mL) enrasados a 20 mL con hexano (**Figura 26**). El coeficiente de variación (CV) del método y la medida obtenidos es de 2.60% y 1.49%, respectivamente (**Tabla 9**).

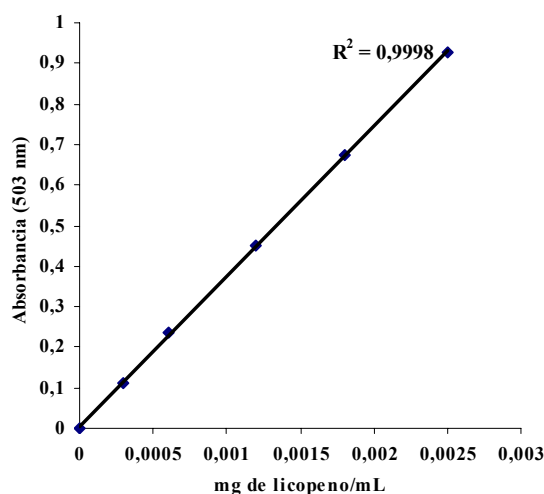


Figura 26. Recta de calibración del licopeno por espectrofotometría

Tabla 9. Coeficientes de variación del método y la medida en la determinación de licopeno mediante espectrofotometría

Muestra	mg/100 g materia fresca	
1	12.67	12.68
2	12.41	12.51
3	12.86	12.30
4	12.66	12.49
5	12.95	12.62
6	12.95	12.61
7	11.98	12.12
8	12.25	12.68
Promedio	12.59	12.50
DT	0.33	0.19
%CV	2.60	1.49
	Método	Medida

b. Licopeno y β -caroteno mediante HPLC

Referencias: Sadler y col. (1990), Lugasi y col. (2003) y Pedro y Ferreira (2005)

Principio

Determinación de la concentración de licopeno y β -caroteno en una muestra mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) en fase reversa y con detector diodo array.

Materiales y aparatos

- Balanza analítica, Scaltec modelo SBA 31.
- Agitador termomagnético, Velp Scientifica.
- Filtros de jeringa de nylon de 0.2 μ m, Waters.
- Cromatógrafo líquido de alta resolución, que consta de:
 - ❖ Bomba para HPLC, Jasco modelo PU-1580.
 - ❖ Detector de multilongitud de onda UV/VIS (diodo array), Jasco modelo MD-1515.
 - ❖ Horno de columna, Jetstream Plus serie 90305-2.
 - ❖ Inyector manual, Rheodyne con bucle de inyección de 20 μ L.
 - ❖ Software Borwin Chromatography, Jasco versión 1.50.
 - ❖ Software Borwin PDA, Jasco versión 1.50.

- ❖ Software HSS-2000 control Server, Jasco versión 1.50.
- ❖ Unidad de gradiente ternario de baja presión (mezclador), Jasco modelo LG-1580-02.
- ❖ Unidad LC-Net II/ADC, Jasco.
- Columna Sun Fire C₁₈, de 250 mm x 4.6 mm, empacada con partículas de 5 µm, Waters.
- Precolumna Sun Fire C₁₈, de 20 mm x 4.6 mm, empacada con partículas de 5 µm, Waters.
- Jeringa de 50 µL, SGE.
- Desgasificador, Gastorr modelo 154.
- Espectrofotómetro ultravioleta/visible de doble haz, Jasco modelo V-530 con Software Spectra Manager para Windows 95/NT Jasco.
- Cubetas de cuarzo de 3.5 mL, Hellma tipo 100.600-QG de 1 cm.
- Material de vidrio de uso en el laboratorio.
- Pipetas pasteur de plástico 1.5 mL.
- Picadora, Moulinex modelo D56.
- Micropipeta de 200 µL, Gilson modelo P75085L.
- Micropipeta de 1000 µL, Gilson modelo P73845L.

Reactivos

- Licopeno. Sigma Cód. L9879.
- β-caroteno. Sigma Cód. C-9750.
- n-hexano grado HPLC. Merck Cód. 104391.2500.
- Etanol 96%. Panreac Cód. 141085.1212.
- Acetona. Panreac Cód. 1310077.1612.
- 2,6-Di-tert-butil-4-metilfenol (BHT) 98%. Panreac Cód. 162825.1209.
- Metanol grado HPLC. Merck Cód. 106018.2500.
- Tetrahidrofurano (THF) grado HPLC. Panreac Cód. 361736.1611.
- Agua Milli-Q, obtenida de un sistema purificador de agua Milipore Milli-Q plus.
- Agua destilada.
- Nitrógeno comprimido. Carburos Metálicos, UN1066.

Condiciones de trabajo

- **Fase móvil:** una mezcla de metanol/THF/H₂O-Milli-Q (67:27:6).
- **Flujo de trabajo:** 2 mL/min.
- **Presión de trabajo:** 19.8 Mpa.
- **Modo:** Isocrático.
- **Longitud de onda de detección:**
 - ❖ Licopeno: 475 nm.
 - ❖ β -caroteno: 450 nm.
- **Temperatura de horno de columna:** 30 °C.

Procedimiento

2 g de muestra homogenizada se pesan en un erlenmeyer de 250 mL. Se adicionan 50 mL del solvente hexano/acetona/etanol (2:1:1 v/v/v %) que contiene 2.5% de BHT en acetona. El erlenmeyer se cubre con papel aluminio, se inyecta N₂ durante aproximadamente 20 segundos, se cubre con hielo en escamas y se lleva a agitación magnética. Después de 10 minutos de agitación, se adicionan 10 mL de agua destilada y se agita nuevamente durante 5 minutos. Al finalizar la agitación se presentan dos fases, una orgánica y otra acuosa. Una alícuota de 4 mL de la fase orgánica (hexano) fue inmediatamente colectada utilizando pipetas pasteur. Esta alícuota se filtra dos veces a través de un filtro de nylon de 0.2 μ m y 20 μ L se inyectan en el HPLC. En las **Figuras 27 a 29** se recogen los espectros y los cromatogramas del licopeno y el β -caroteno tanto de los patrones como de una muestra de tomate en fresco.

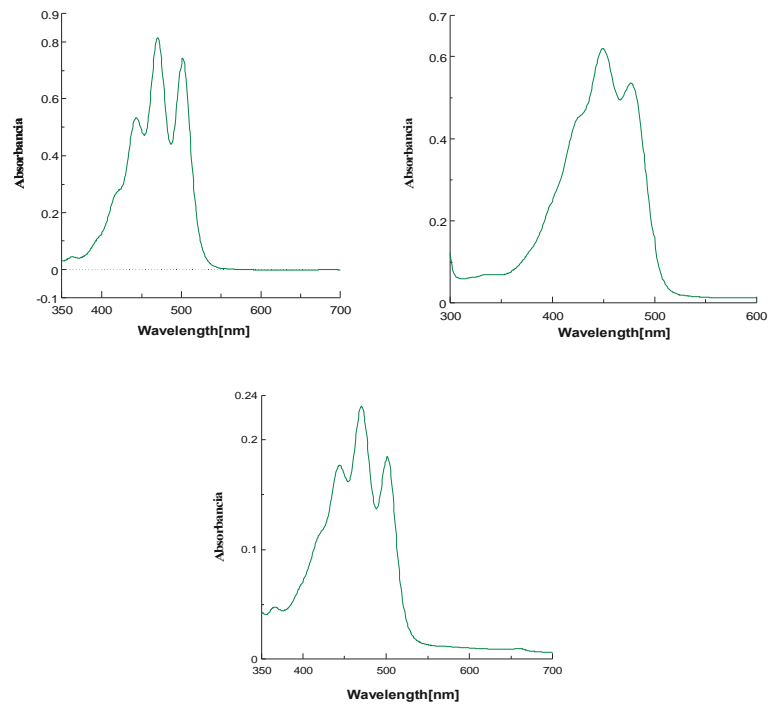


Figura 27. Espectros del patrón del licopeno (475 nm), β -caroteno (450 nm) y una muestra tomate fresco (475nm)

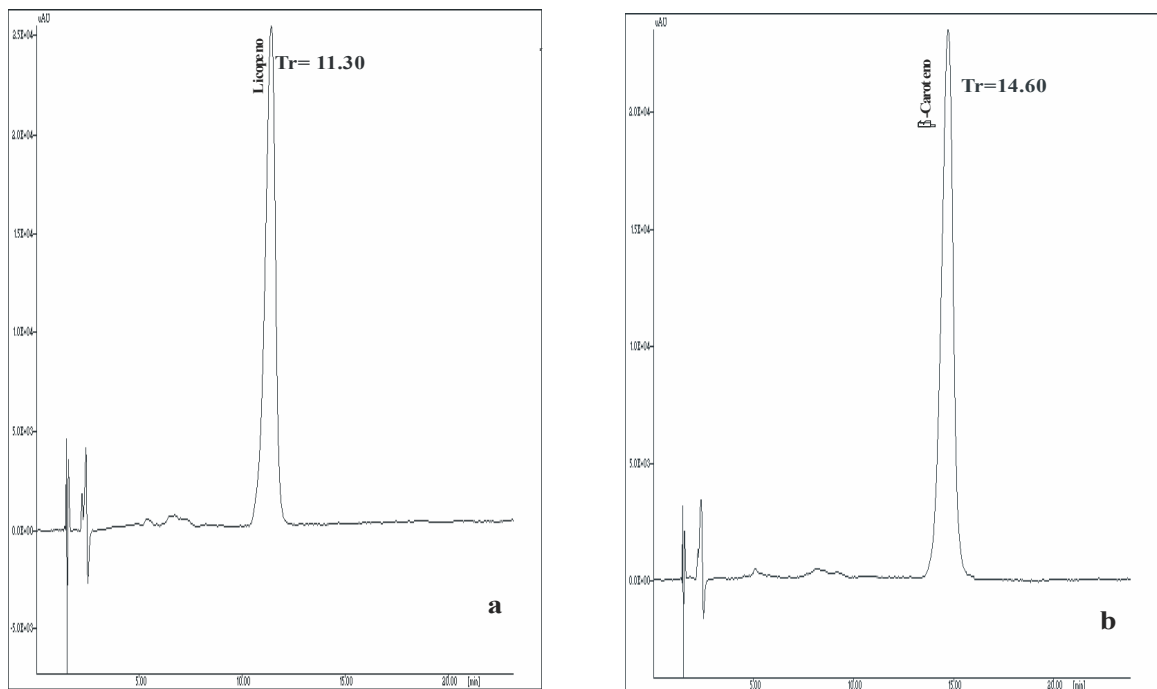


Figura 28. Cromatogramas del patrón de licopeno a 475 nm (a) y β -caroteno a 450 nm (b)

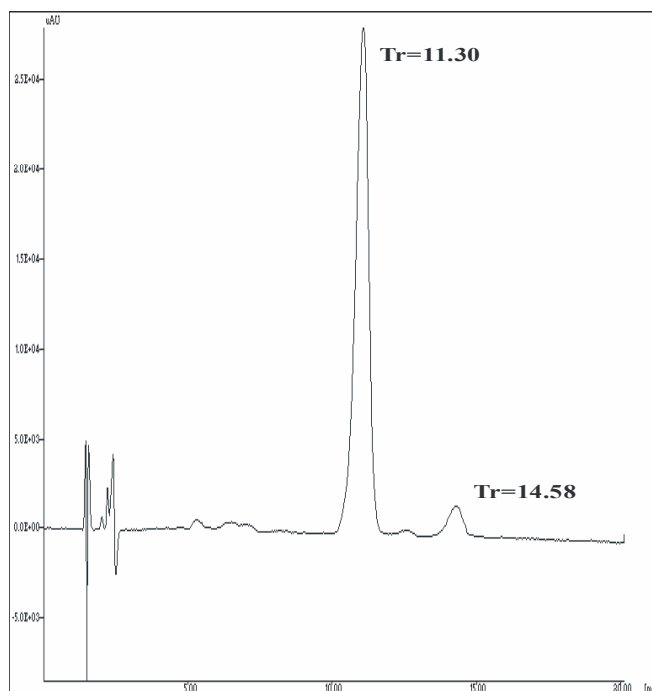


Figura 29. Cromatograma de una muestra de tomate fresco

Cálculos

La cuantificación (mg/100 g de materia fresca) se realiza a partir de la recta de calibrado utilizando los estándares respectivos de licopeno ($R^2=0.9986$) y β -caroteno ($R^2=0.9944$). La recta de calibración para el licopeno se obtiene a partir de cuatro alícuotas de 0.5, 2, 5, 7.5 mL de una solución del patrón (0.02 mg/mL) llevados a 10 mL con hexano, el quinto punto de la recta corresponde a la solución patrón (**Figura 30**) y la recta de calibración del β -caroteno se construye a partir de cinco alícuotas de 0.5, 1, 2.5, 3.75, y 5 mL de una solución patrón (0.021 mg/mL) enrasados a 50 mL con hexano (**Figura 31**). Los límites de cuantificación son de 1×10^{-8} $\mu\text{g/mL}$ para el licopeno y de 5.98×10^{-5} $\mu\text{g/mL}$ para el β -caroteno. El porcentaje de recuperación es del 103.96% para el licopeno y del 93.75% para el β -caroteno. Los coeficientes de variación del método y la medida obtenidos son de 2.64% y 0.88%, respectivamente, para el licopeno y del 4.24% y 1.49%, respectivamente, para el β -caroteno (**Tabla 10**).

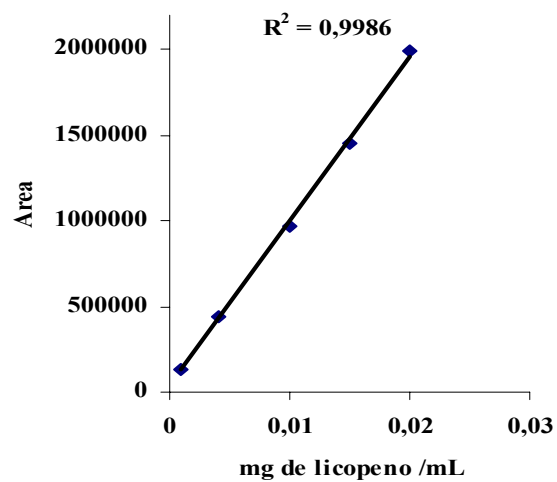


Figura 30. Recta de calibración del licopeno por HPLC

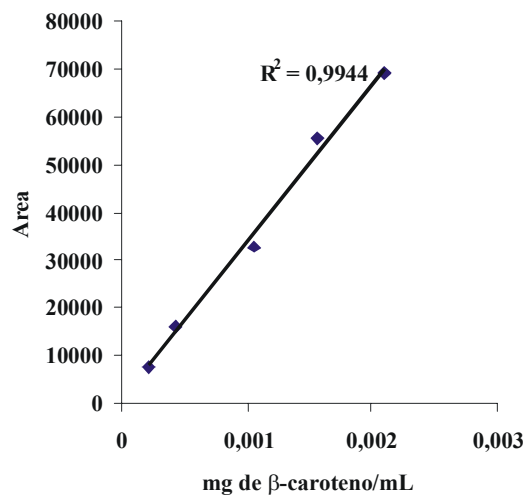


Figura 31. Recta de calibración del beta-caroteno

Tabla 10. Coeficientes de variación del método y la medida en la determinación de licopeno y β -caroteno por HPLC

Muestra	Licopeno(mg/100 g materia fresca)		β -caroteno (mg/100 g materia fresca)	
1	14.26	14.89	0.81	0.80
2	15.04	14.85	0.83	0.77
3	15.04	14.84	0.82	0.79
4	15.39	14.89	0.86	0.77
5	14.53	14.55	0.78	0.79
6	14.50	14.79	0.82	0.79
7	15.13		0.75	
8	15.11		0.81	
Promedio	14.87	14.80	0.81	0.78
DS	0.39	0.13	0.03	0.01
%CV	2.64	0.88	4.24	1.49
	método	medida	método	medida

Dado que los parámetros de validación de los métodos de determinación de licopeno (espectrofotometría y HPLC) se consideran adecuados y muy similares, se decide aplicar ambos métodos a siete variedades de tomate en fresco (apartado 4.1.2).

Con los datos obtenidos se calcula la recta de regresión y, tal como se observa en la **Figura 32** se obtiene un coeficiente de regresión elevado ($R^2 = 0.9097$, $p < 0.01$).

En base a estos resultados se concluye que ambos métodos podrían ser utilizados indistintamente para la determinación del licopeno en tomate.

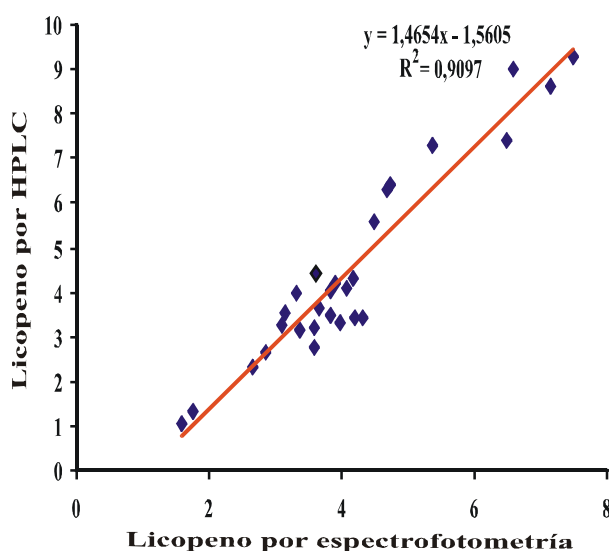


Figura 32. Regresión lineal entre el contenido de licopeno (mg/100 g de materia fresca) medido por HPLC y por espectrofotometría

3.4.19. Determinación del ácido ascórbico

Referencia: **Gahler y col. (2003)**

Principio

Determinación de la concentración del ácido ascórbico en una muestra mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) en fase reversa y con detector diodo array.

Materiales y aparatos

- Balanza analítica, Scaltec modelo SBA 31.
- Filtros de jeringa de nylon de 0.2 μm , Waters.
- Cromatógrafo líquido de alta resolución. que consta de:
 - ❖ Bomba para HPLC, Jasco modelo PU-1580
 - ❖ Detector de multilongitud de onda UV/VIS (diodo array), Jasco modelo MD-1515
 - ❖ Horno de columna, Jetstream Plus serie 90305-2
 - ❖ Inyector manual, Rheodyne con bucle de inyección de 20 μL .
 - ❖ Software Borwin Chromatography, Jasco versión 1.50.
 - ❖ Software Borwin PDA, Jasco versión 1.50
 - ❖ Software HSS-2000 control Server, Jasco version 1.50
 - ❖ Unidad de gradiente ternario de baja presión (mezclador), Jasco modelo LG-1580-02
 - ❖ Unidad LC-Net II/ADC, Jasco.
- Columna C_{18} , Spherisorb ODS2, de 250 mm x 4.6 mm, empacada con partículas de 5 μm , Waters.
- Preclumna C_{18} , Spherisorb ODS2, de 10 mm x 4.6 mm, empacada con partículas de 5 μm , Waters.
- Jeringa de 50 μL , SGE.
- Desgasificador, Gastorr modelo 154.
- Material de vidrio de uso en el laboratorio.
- Papel filtro, Albert 135.
- Tubos de policarbonato, Kontron modelo 909190236.
- Ultracentrifuga, Centrikon modelo T-2070 con rotor TFT 70.38-906590027.

- Vortex, Velp Scientifica.
- Micropipeta de 200 μ L, Gilson modelo P75085L.
- Micropipeta de 1000 μ L, Gilson modelo P73845L.

Reactivos

- Agua Milli-Q, obtenida de un sistema purificador de agua Milipore Milli-Q plus.
- L-(+)-Ácido ascórbico 99%. Acros Cód. 401471000.
- Ácido metafosfórico. Merk Cód. 1.00546.05000.
- Ácido sulfúrico 96%. Panreac Cód. 131058.
- Solución de ácido metafosfórico al 4.5 %.

Condiciones de trabajo

- **Fase móvil:** H₂O-Milli-Q llevada a pH 2.2 con ácido sulfúrico 96%
- **Flujo de trabajo:** 1 mL/min.
- **Presión de trabajo:** 9.8 Mpa.
- **Modo:** Isocrático.
- **Longitud de onda de detección:** 245 nm.
- **Temperatura del horno de columna:** 25 °C.

Procedimiento

Se pesan, aproximadamente, 2 g de muestra y se mezclan con 10 mL de ácido metafosfórico al 4.5% (p/v). Se agita en un vortex durante 1 minuto y después la mezcla se centrifuga a 500 rpm a 10 °C, durante 15 minutos. Finalizada esta operación, se filtra a través de un filtro Albert 135. Se toma 1 mL del filtrado y se lleva a 25 mL con ácido metafosfórico. Esta solución se filtra dos veces a través de un filtro de nylon de 0.2 μ m e inmediatamente se inyecta en el HPLC. En la **Figura 33** se recogen los cromatogramas del patrón de ácido ascórbico y de una muestra de tomate triturado.

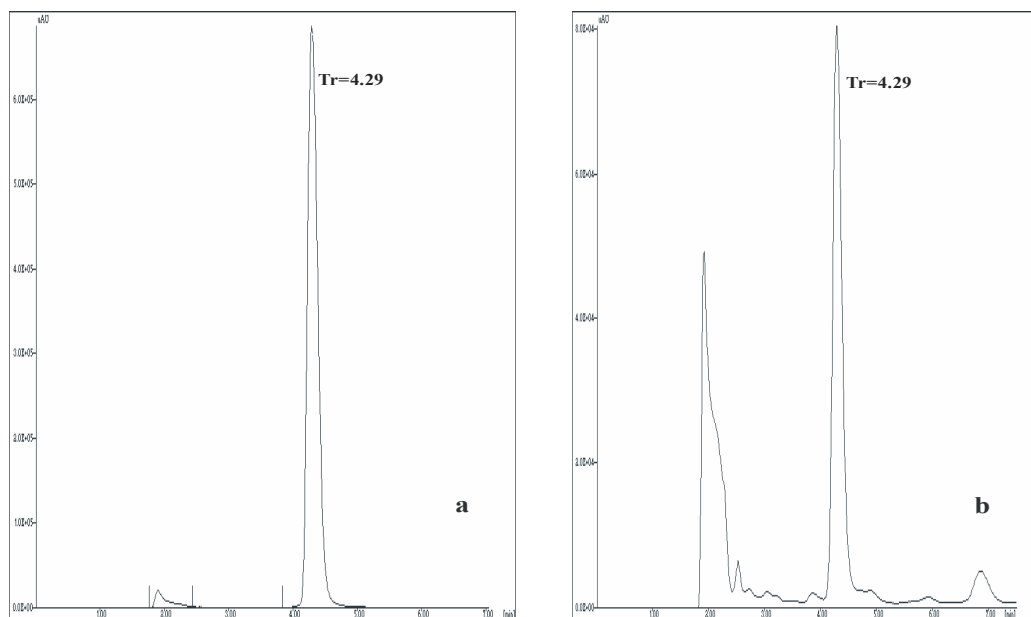


Figura 33. Cromatogramas: (a) patrón de ácido ascórbico y (b) muestra de tomate triturado comercial (245 nm)

Cálculos

La concentración del ácido ascórbico (mg/100 g de materia fresca) en las muestras se determina a partir de la recta de calibrado ($R^2=0.9976$) obtenida de cuatro alícuotas de 2, 5, 10 y 15 mL de una solución patrón (0.0068 mg/mL) enrasados a 25 mL con ácido metafosfórico, el quinto punto corresponde a la solución patrón (**Figura 34**). El coeficiente de variación (CV) del método y la medida obtenidos es de 3.48% y 2.39%, respectivamente (**Tabla 13**). El porcentaje de recuperación es del 96.54% y el límite de cuantificación obtenido es de 0.0234 $\mu\text{g/mL}$.

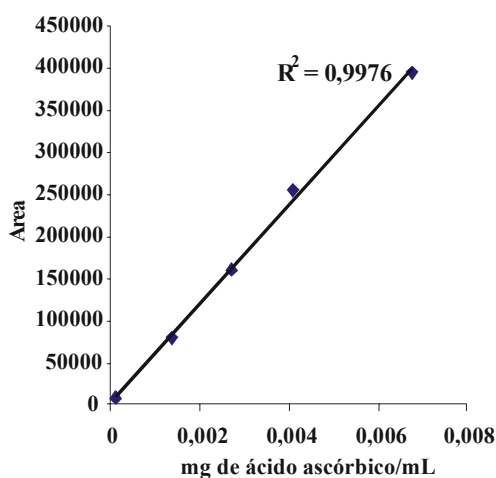


Figura 34. Recta de calibración del ácido ascórbico

Tabla 11. Coeficientes de variación del método y la medida en la determinación de ácido ascórbico

Muestra	mg/100 g materia fresca	
1	1.72	1.75
2	1.81	1.72
3	1.69	1.68
4	1.64	1.69
5	1.70	1.64
6	1.79	1.67
7	1.65	
8	1.70	
Promedio	1.71	1.69
DS	0.06	0.04
%CV	3.48	2.39
	Método	Medida

3.4.20. Determinación de ácidos orgánicos

Referencia: Vázquez-Odériz y col. (1994)

Principio

Determinación de la concentración de los ácidos orgánicos en una muestra mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) en fase reversa y con detector diodo array.

Materiales y aparatos

- Balanza analítica, Scaltec modelo SBA 31.
- Agitador termomagnético, Velp Scientifica.
- Filtros de jeringa de nylon de 0.2 μm , Waters.
- Cromatógrafo líquido de alta resolución. que consta de:
 - ❖ Bomba para HPLC, Jasco modelo PU-1580.
 - ❖ Detector de multilongitud de onda UV/VIS (diodo array), Jasco modelo MD-1515.
 - ❖ Horno de columna, Jetstream Plus serie 90305-2.
 - ❖ Inyector manual, Rheodyne con bucle de inyección de 20 μL .
 - ❖ Software Borwin Chromatography, Jasco versión 1.50.

- ❖ Software Borwin PDA, Jasco versión 1.50.
- ❖ Software HSS-2000 control Server, Jasco version 1.50.
- ❖ Unidad de gradiente ternario de baja presión (mezclador), Jasco modelo LG-1580-02.
- ❖ Unidad LC-Net II/ADC, Jasco.
- Columna C₁₈, Spherisorb ODS2, de 250 mm x 4.6 mm, empacada con partículas de 5 µm, Waters.
- Preclumna C₁₈. Spherisorb ODS2, de 10 mm x 4.6 mm, empacada con partículas de 5 µm, Waters.
- Jeringa de 50 µL, SGE.
- Desgasificador, Gastorr modelo 154.
- Papel filtro, Albert 135.
- Micropipeta de 200 µL, Gilson modelo P75085L.
- Micropipeta de 1000 µL, Gilson modelo P73845L.

Reactivos

- Agua Milli-Q, obtenida de un sistema purificador de agua Milipore Milli-Q plus.
- Ácido oxálico. Panreac Cód. 131041.1210.
- Ácido L-málico. Acros Cód. 155059-0250.
- L-(+)-Ácido ascórbico 99%. Acros Cód. 401471000.
- Ácido cítrico anhidro. Panreac Cód. 131808.
- Ácido fumárico. Fluka Cód. 47900.
- Ácido metafosfórico. Merk Cód. 1.00546.05000.
- Ácido sulfúrico 96%. Panreac Cód. 131058.
- Solución de ácido metafosfórico al 4.5%.

Condiciones de trabajo

- **Fase móvil:** H₂O-Milli-Q llevada a pH 2.2 con ácido sulfúrico 96%.
- **Flujo de trabajo:** 0.4 mL/min.
- **Presión de trabajo:** 3.5 Mpa.
- **Modo:** Isocrático.

- **Longitud de onda de detección:**
 - ❖ Ácido oxálico, ácido málico, ácido cítrico y ácido fumárico: 215 nm.
 - ❖ Ácido ascórbico: 245 nm.
- **Temperatura del horno de columna: 25 °C.**

Procedimiento

Se pesan aproximadamente 20 g de muestra en un vaso de precipitados de 200 mL. Se adicionan 60 mL de ácido metafosfórico al 4.5% (p/v). El vaso de precipitados se cubre con papel de aluminio y se agita magnéticamente la mezcla durante 15 minutos. Se filtra a través de un filtro Albert 135, se toman 5 mL del filtrado y se aforan a 10 mL con el ácido metafosfórico al 4.5% (p/v). Esta solución se filtra dos veces a través de un filtro de nylon de 0.2 μm e inmediatamente se inyectan 20 μL en el HPLC. En las **Figuras 35 a 38** se representan los cromatogramas correspondientes a los patrones de los ácidos y los ácidos presentes en una muestra de tomate en fresco.

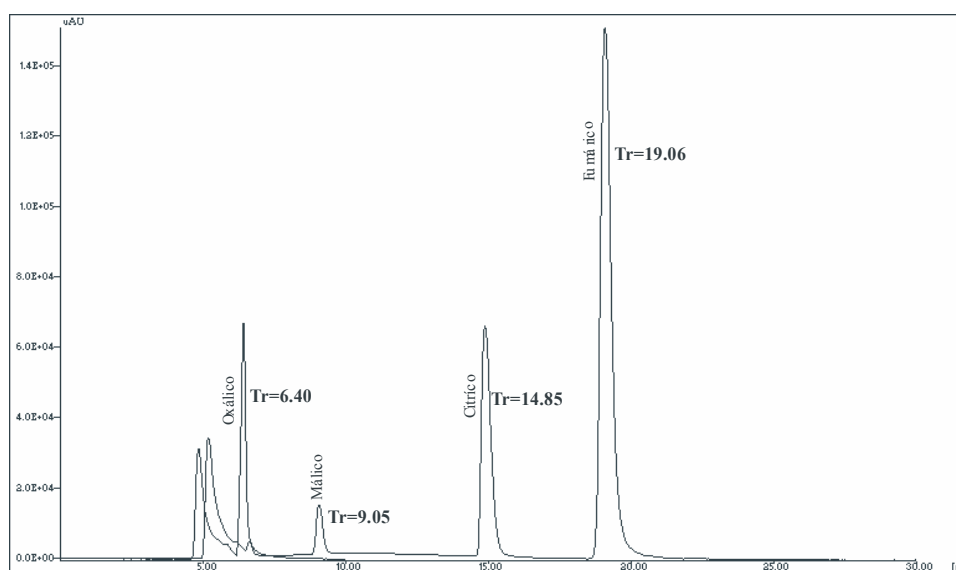


Figura 35. Cromatograma de los patrones de ácido oxálico, málico, cítrico y fumárico a 215 nm

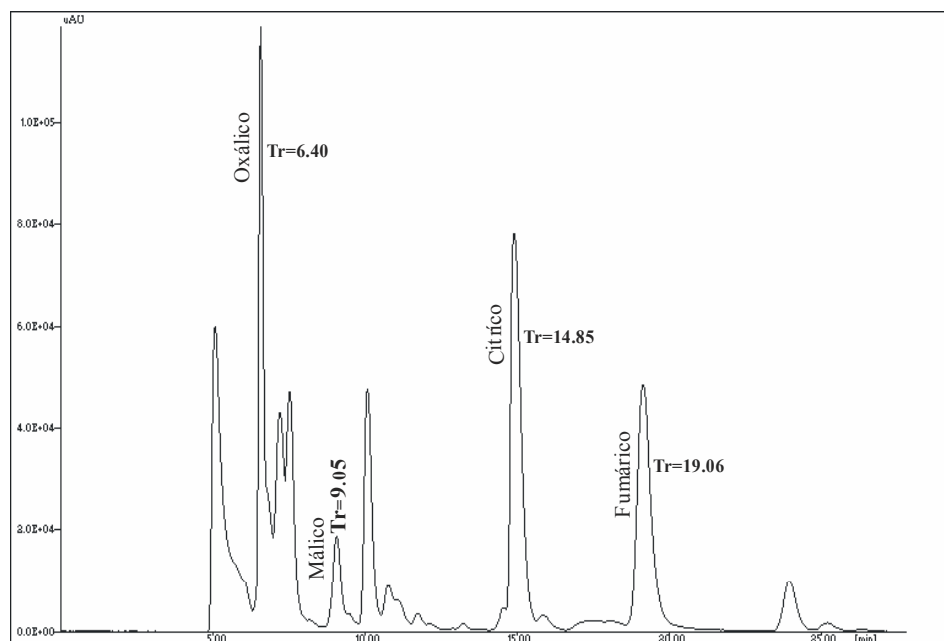


Figura 36. Cromatograma de una muestra de tomate a 215 nm

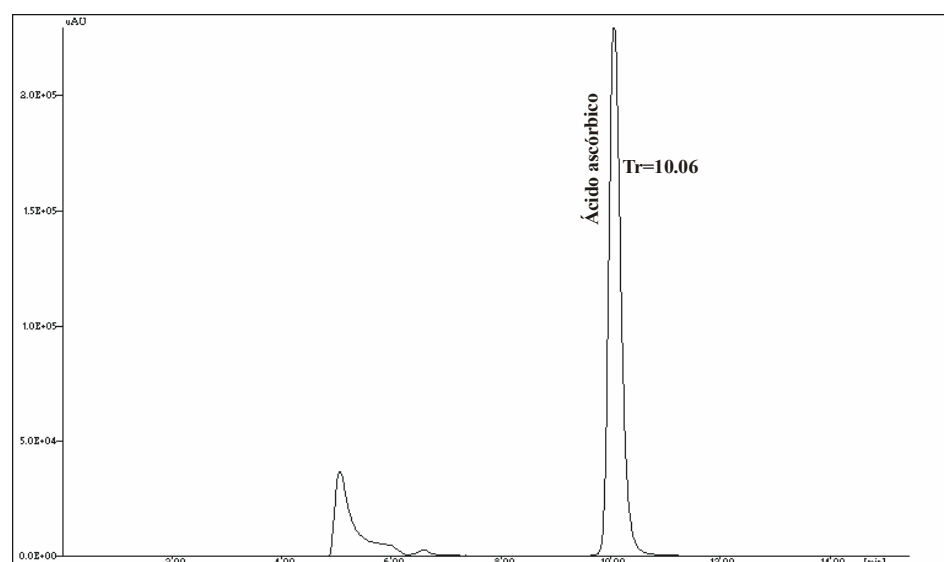


Figura 37. Cromatograma del patrón de ácido ascórbico a 245 nm.

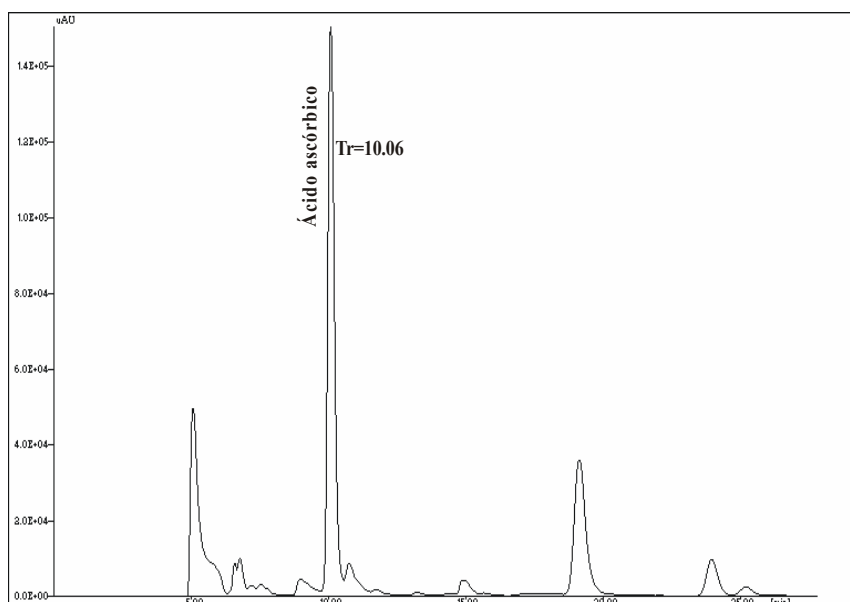


Figura 38. Cromatograma de una muestra de tomate a 245 nm

Cálculos

La concentración de los ácidos orgánicos (mg/100 g de materia fresca) se determina a partir de las rectas de calibrado utilizando los respectivos patrones:

- Ácido oxálico ($R^2=0.9966$). Recta obtenida con cinco alícuotas de 1, 2, 4, 6 y 8 mL de una solución patrón (0.056 mg/mL) enrasadas a 10 mL con ácido metafosfórico, el sexto punto corresponde a la solución patrón (**Figura 39**).
- Ácido málico ($R^2=0.9990$). Recta obtenida con cuatro alícuotas de 1, 2, 5 y 8 mL de una solución patrón (0.12 mg/mL) enrasadas a 10 mL con ácido metafosfórico, el quinto punto corresponde a la solución patrón (**Figura 40**).
- Ácido ascórbico ($R^2=0.9990$). Recta obtenida con cinco alícuotas de 0.5, 2, 4, 6 y 8 mL de una solución patrón (0.058 mg/mL) enrasadas a 10 mL con ácido metafosfórico, el sexto punto corresponde a la solución patrón (**Figura 41**).
- Ácido cítrico ($R^2=0.9997$). Recta obtenida con cinco alícuotas de 0.1, 0.5, 2.5, 5 y 8 mL de una solución patrón (1.346 mg/mL) enrasadas a 10 mL con ácido metafosfórico, el sexto punto corresponde a la solución patrón (**Figura 42**).
- Ácido fumárico ($R^2=0.9999$). Recta obtenida con cinco alícuotas de 1, 3, 5, 7 y 9 mL de una solución patrón (0.1 mg/mL) enrasadas a 10 mL con ácido metafosfórico, el sexto punto corresponde a la solución patrón (**Figuras 43**).

Los parámetros de validación del método han sido comprobados previamente por el grupo de investigación (Vázquez-Odériz y col., 1994).

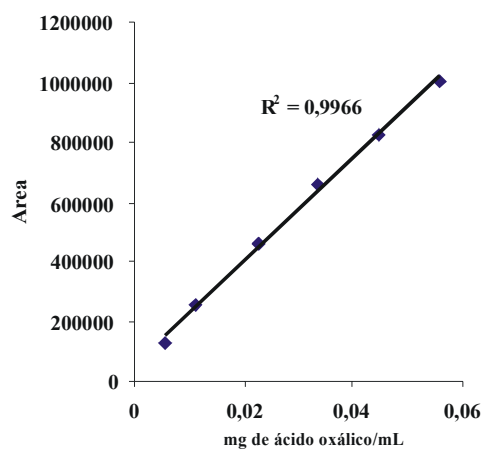


Figura 39. Recta de calibración del ácido oxálico

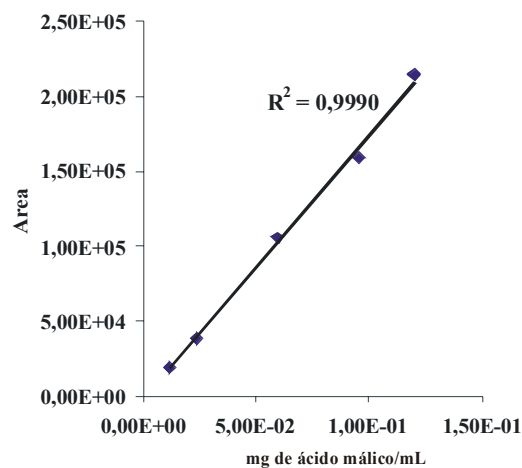


Figura 40. Recta de calibración del ácido málico

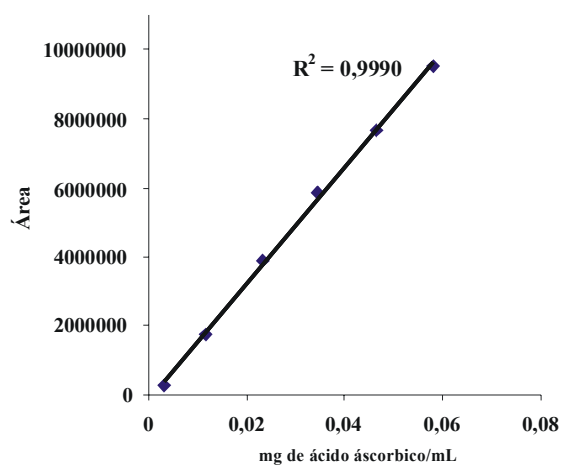


Figura 41. Recta de calibración del ácido ascórbico

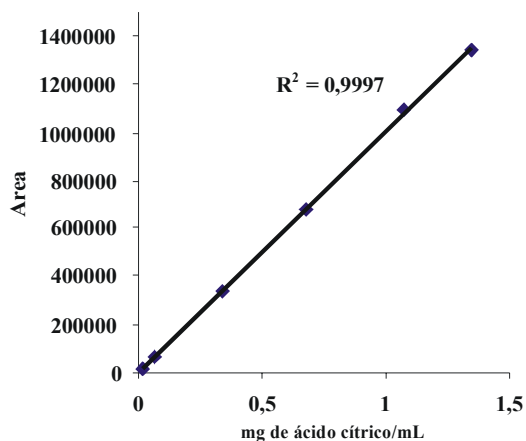


Figura 42. Recta de calibración del ácido cítrico

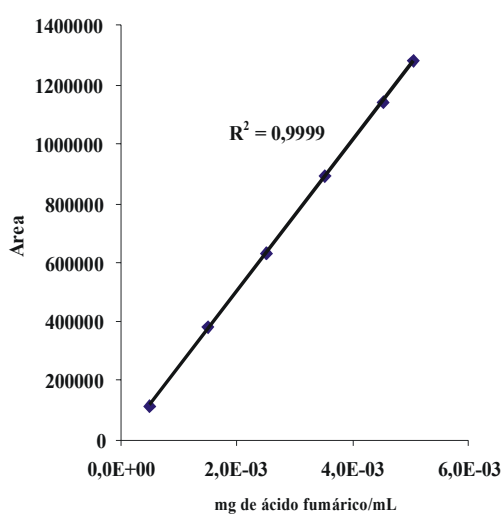


Figura 43. Recta de calibración del ácido fumárico

3.4.21. Determinación de azúcares

Referencias: Loiudice y col. (1995) y Vázquez (1994)

Principio

Determinación de la concentración de la glucosa y fructosa mediante cromatografía líquida de alta resolución utilizando un detector Light Scattering.

Materiales y aparatos

- Balanza analítica, Scaltec modelo SBA 31.
- Agitador termomagnético, Velp Scientifica.
- Filtros de jeringa de nylon de 0.2 μm , Waters.
- Equipo de reflujo.
- Cromatógrafo líquido de alta resolución. que consta de:
 - ❖ Bomba para HPLC, Jasco modelo PU-2080.
 - ❖ Detector Light- Scattering Eurosep modelo DDL 31.
 - ❖ Horno para columna, Gecko modelo 2000.
 - ❖ Inyector manual, Rheodyne con bucle de inyección de 20 μL .
 - ❖ Software HSS-2000 control Server, Jasco versión 3.5.2.
 - ❖ Software Borwin PDA, Jasco versión 1.50.
 - ❖ Software HSS-2000 control Server, Jasco versión 1.50.
 - ❖ Unidad de gradiente ternario de baja presión (mezclador), Jasco modelo LG-2080-02.
 - ❖ Unidad LC-Net II/ADC, Jasco.
- Columna Spherisorb, S_5NH_2 , de 250 mm x 4.6 mm, empacada con partículas de 5 μm , Waters.
- Precolumna Waters Spherisorb, S_5NH_2 de 4.6 x 10 mm, empacada con partículas de 5 μm , Waters.
- Jeringa de 50 μL , SGE.
- Desgasificador de Helio comprimido, Carburos metálicos UN 1046.
- Material de vidrio de uso en el laboratorio.
- Nitrógeno comprimido, Carburos Metálicos UN1066.
- Papel filtro, Albert 135.
- Pipetas pasteur de plástico de 1.5 mL.
- Micropipeta de 200 μL , Gilson modelo P75085L.
- Micropipeta de 1000 μL , Gilson modelo P73845L.

Reactivos

- D(-)-Fructosa. Merck Cód.104007.1000.
- D(+)-Glucosa. Merck Cód.108326.1000.
- Etanol absoluto. Panreac Cód. 361086.1612.
- Acetonitrilo. Panreac Cód. 221881.1612.
- Agua-Milli-Q obtenida mediante purificador de agua Millipore-Mili-Q-Plus.

Condiciones de trabajo

- **Fase móvil:** acetonitrilo: Agua-Milli-Q (80:20).
- **Flujo de trabajo:** 1 mL/min.
- **Presión de trabajo:** 6.3 Mpa.
- **Modo:** Isocrático.
- **Condiciones del detector:** LS: 500 V, 80 °C y 1.5 bares de presión del nitrógeno
- **Temperatura horno de columna:** 30 °C.

Procedimiento

Se pesan aproximadamente 0.5 g de muestra liofilizada y se mezclan con 40 mL de etanol al 80%. Esta solución se mantiene durante 30 minutos en ebullición a reflujo con agitación constante. Al finalizar la extracción, se enfría el extracto utilizando hielo en escamas. Se toma una alícuota con una pipeta pasteur y se filtra dos veces a través de un filtro de nylon de 0.2 µm e inmediatamente se inyectan 20 µL en el HPLC. En la **Figura 44** se recogen los cromatogramas de los patrones de fructosa y glucosa y de una muestra de tomate.

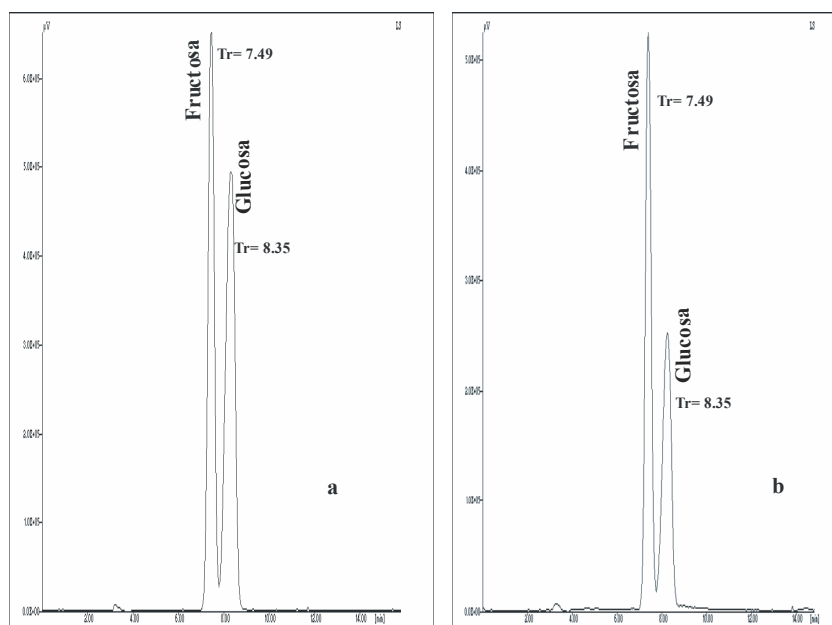


Figura 44. Cromatograma del patrón de fructosa y glucosa (a) y cromatograma de una muestra de tomate liofilizado (b)
Cálculos

La concentración de los azúcares (mg/100 g materia fresca) en las muestras se determina a partir de la recta de calibrado utilizando los patrones respectivos. La recta de calibración para fructosa ($R^2=0.9957$) se obtiene con cinco alícuotas de 0.5, 2, 3, 4, 5 mL de una solución patrón (13.64 mg/mL) enrasados con 10 mL de etanol al 80% (**Figura 45**).

La recta de calibración de la glucosa ($R^2= 0.9987$) se construye a partir de cinco alícuotas de 0.5, 2, 4, 6, 8 mL de una solución patrón (4.12 mg/mL) enrasados con 10 mL de etanol al 80% (**Figura 46**). El límite de cuantificación para la fructosa es de 25.3 $\mu\text{g/mL}$ y para la glucosa de 19.7 $\mu\text{g/mL}$. El coeficiente de variación del método y la medida obtenidos es de 4.15% y 1.37%, respectivamente para la fructosa y de 3.84% y 1.55%, respectivamente para la glucosa (**Tabla 12**).

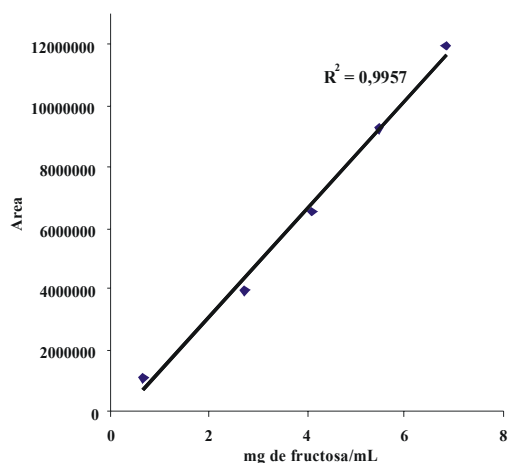


Figura 45. Recta de calibración de fructosa

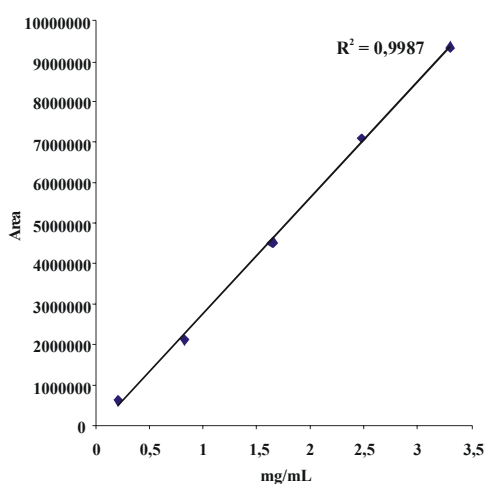


Figura 46. Recta de calibración de la glucosa

Tabla 12. Coeficientes de variación del método y la medida en la determinación de azúcares

Muestra	Fructosa (g/100 g muestra fresca)		Glucosa (g/100 g muestra fresca)	
	Método	Medida	Método	Medida
1	1.58	1.73	1.22	1.32
2	1.65	1.71	1.25	1.30
3	1.61	1.74	1.24	1.28
4	1.55	1.69	1.20	1.28
5	1.69	1.75	1.30	1.29
6	1.68	1.75	1.30	1.26
7	1.55		1.21	
8	1.73		1.33	
Promedio	1.63	1.73	1.26	1.29
DS	0.07	0.02	0.05	0.02
%CV	4.15	1.37	3.84	1.55
	Método	Medida	Método	Medida

3.4.22. Determinación de la actividad de la enzima polimetilesterasa (PME)

Referencia: **Begum y Brewer (2001)**

Principio

Método basado en la neutralización los grupos metoxilos (OCH_3) generados durante la actividad de la PME con una solución de NaOH 0.01 N.

Materiales y aparatos

- Balanza electrónica, Adam Equipment modelo ADP 3100/L.
- Agitador termomagnético, Velp Scientifica.
- Material de vidrio de uso en el laboratorio.
- Baño termostataizado, Tectron modelo 200
- Bureta de 25 mL, Pirex.
- Cronómetro.

Reactivos

- Agua destilada.
- Pectina cítrica. Sigma P9139-100G.
- Cloruro de sodio. Panreac. Cód. 121659.
- Hidróxido de sodio. Panreac. Cód. 141687.1214.
- Solución de pectina al 1%.
- Solución de NaCl 2 M.
- Solución de NaOH 0.1 N y 0.01 N.

Procedimiento

200 g de muestra, se mezclan con 200 mL de agua destilada. Seguidamente se trituran durante 5 minutos, se pesan aproximadamente 100 g de la mezcla y se adicionan 50 mL de pectina cítrica (1%), 20 mL de NaCl 2 M y 30 mL de agua destilada. El pH de la solución se ajusta a 7.5 con una solución de NaOH 0.1 N. La muestra se lleva a incubación durante 10 minutos a 30 °C, manteniendo el pH a 7.5 con NaOH 0.01 N. El mismo

procedimiento se realiza con un blanco.

Cálculos

La actividad de la enzima (meq de NaOH * g⁻¹ min⁻¹), se determina a partir de la siguiente expresión.

$$\text{Unidad de actividad de la PME} = \frac{(V_1 - V_2) * 0.01}{P * 10}$$

Siendo:

V₁= volumen en mL de NaOH gastados por la muestra durante la incubación.

V₂= volumen en mL de NaOH gastados por el blanco durante la incubación.

P= peso, en gramos, de la muestra.

3.4.23. Determinación de elementos minerales

Principio

Aplicación de la espectrofotometría de absorción atómica en la que la radiación es absorbida por átomos no excitados en estado de vapor. La cantidad de radiación absorbida es proporcional a la concentración del elemento en la muestra.

Material y aparatos

- Espectrofotometro de absorción atómica, Perkin Elemer ICP-OES modelo Optima 4300 DV.
- Balanza analítica, Scaltec modelo SBA 31.
- Cápsulas de porcelana.
- Desecador, Simax.
- Horno eléctrico mufla, Hobersal modelo HD-230.
- Agitador termomagnético, Velp Scientifica.

Condiciones de trabajo

- **Potencia del generador de RF:** 1200 watios.
- **Flujo de trabajo:** 0.8 mL/min.
- **Presión de trabajo:** 6.3 Mpa.
- **Flujo de plasma:** 15 L/min.

Procedimiento

En la determinación de los elementos minerales se parte de las cenizas totales obtenidas previamente. Las muestras de cenizas que no presentan un aspecto blanco o blanco-grisáceo se someten a un pretratamiento con 3 a 4 mL de HNO₃ (1:1) evaporando este reactivo en placa calefactora y calcinándolas nuevamente durante una hora. Posteriormente, las cenizas de cada una de las muestras se disuelven en 20 mL de una solución de HCl 3M para el respectivo análisis de los elementos minerales K, Ca, Na, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu y Se. Estos elementos han sido determinados en los servicios generales de esta Universidad.

3.4.24. Análisis microscópico de la estructura del tomate

Referencia: **Flint (1996)**

Material y aparatos

- Vibratomo, Vibratome series 1000 Sectioning System.
- Microscopio óptico, Olympus AX70, que consta de:
 - ❖ Objetivo 4x, 10x, 20x, y 40x, y el aumento del ocular es de 10x; por tanto los aumentos totales para la observación de las muestras son: 40x, 100x, 200x y 400x.
 - ❖ Cámara digital, incorporada al microscopio, Olympus U-MCB.

Reactivos

- Gelatina. Panreac Cód. 251336.
- Azul de toluidina. Analema Cód. 52040.
- Fenol cristalizado. Panreac Cód. 131322.

- Carmín de índigo. Panreac Cód. 73015.
- Ácido pícrico saturado. Panreac Cód. 251049.
- Glicerina. Panreac Cód. 131339.
- Agua destilada.
- Solución de azul de toluidina al 0.049% (por cada 100 mL de agua destilada añadir 0.07 g de azul de toluidina, 42.85 mL de glicerina y 1.01 g de fenol)
- Solución 1% de carmín de índigo.
- Solución de picroíndigo de carmín (100 mL de solución 1% de carmín de índigo y 50 mL de ácido pícrico saturado).

Procedimiento

Se toma un trozo de la piel del tomate, se deposita sobre un portaobjetos y se raspa vigorosamente con una espátula para eliminar cualquier resto de células de pulpa. Posteriormente, se tiñe durante dos minutos con azul de toluidina, se lava con agua destilada para eliminar el exceso de colorante y se monta con glicerina para ser observada ésta estructura al microscopio.

Para observar la estructura de la pulpa se corta el fruto de forma longitudinal y se separa una porción del pericarpio externo (incluyendo, exocarpo, mesocarpo y endocarpo) de aproximadamente 1 cm. A continuación, se cortan secciones de 300 µm de grosor, utilizando el vibratomo. El tejido se tiñe utilizando azul de toluidina siguiendo el mismo procedimiento aplicado en la piel. Los núcleos de la pulpa se identifican tiñendo las secciones de 300 µm con la solución de picroíndigo de carmín durante 4 minutos, se lava rápidamente con agua destilada y se monta con glicerina.

En el caso de la semilla, se toma una semilla de tomate y se desprende la parte gelatinosa. A continuación se pincha la semilla con una aguja y se separa cuidadosamente un trozo de la piel que la rodea para su observación directa en el microscopio óptico.

3.4.25. Determinación del área de rojo por microscopía óptica

Referencia: **Miskiewicz y col. (2004)**

Material y aparatos

- Bomba de vacío, Torricelli modelo P3.
- Desecador.
- Horno de microondas Samsung.
- Microscopio óptico, Olympus AX70, que consta de:
 - ❖ Objetivo 4x, 10x, 20x, y 40x, y el aumento del ocular es de 10x; por tanto el aumento total para la observación de las muestras es de: 100x.
 - ❖ Cámara digital, incorporada al microscopio, Olympus U-MCB.

Reactivos

- Glicerina. Panreac Cód. 131339.

Procedimiento

La muestra de tomate fresco se tritura durante tres minutos, parte de las burbujas generadas en esta operación de triturado se eliminan en la cámara de vacío durante cinco minutos, se toma una alícuota de 150 μL y se mezclan con 50 μL de glicerina a temperatura ambiente, que previamente ha sido calentada durante un minuto a 400 w de potencia en el microondas para disminuir la viscosidad. De esta solución se extraen 2 alícuotas de 50 μL que se utilizan para el montaje en dos portaobjetos y su respectiva observación en el microscopio con el objetivo de 10x.

Durante la observación en el microscopio se realizan 15 fotografías digitales por cada portaobjeto de diferentes campos visuales utilizando un filtro LBD, intensidad 1, lámpara de 9.4 V y A. Stop: 275%, seleccionando 5 fotografías por cada portaobjeto eliminando aquellas que presentan burbujas, o estén borrosas o algún otro defecto que pudiese interferir en la correcta determinación del color en las muestras, al final se dispone de 80 fotografías por variedad para el respectivo procesamiento de imágenes.

A continuación, mediante el programa de análisis de imagen semiautomático **MicroImage 4.0 (Image Analysis Software, Olympus)** se determina el porcentaje de área del color rojo de la muestra utilizando el sistema de color **HSI (Figura 47)**.

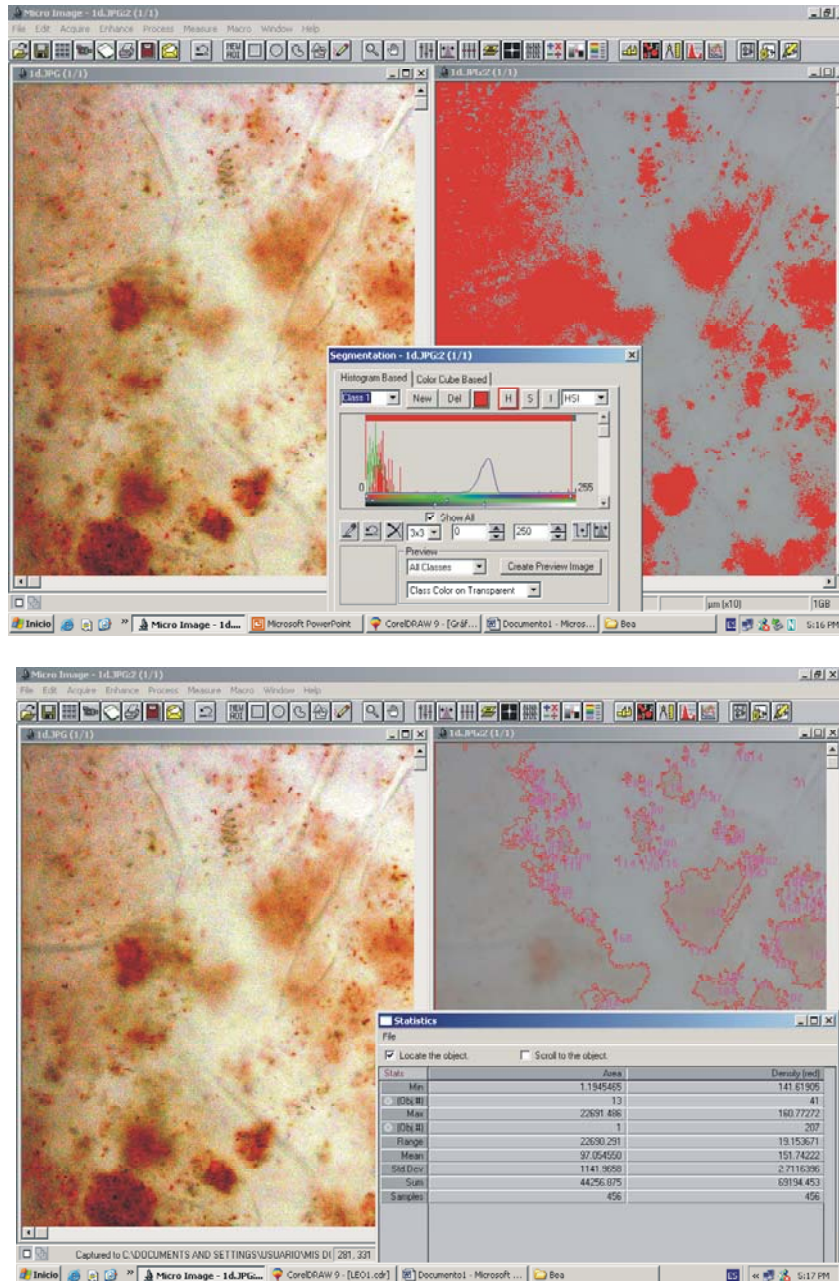


Figura 47. Secuencia del procesamiento de imágenes por el programa MicroImage 4.0 (Image Analysis Software, Olympus)

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Tomate fresco procedente del cultivo ecológico y convencional

El estudio del efecto de los factores: variedad (tres niveles) y cultivo (dos niveles) con interacción se lleva a cabo mediante un experimento factorial equilibrado completamente aleatorizado con dos repeticiones por tratamiento. La significación ($p < 0.05$) del efecto de los factores y la interacción se estudia mediante el análisis de la varianza empleando un modelo de efectos fijos. Si la interacción es significativa se analizan los datos de forma independiente por variedad (ANOVA de un factor, utilizando el test de Tukey) o por cultivo (prueba t -Student).

El modelo matemático que describe este diseño de acuerdo a **Lara (2001)** es:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + u_{ijk}$$

$i = 1, 2, 3, \dots, a \quad j = 1, 2, \dots, b \quad k = 1, 2, \dots, r$

Este modelo debe cumplir las siguientes restricciones:

$$\sum_{i=1}^a \alpha_i = 0 \quad \sum_{j=1}^b \beta_j = 0 \quad \sum_{i=1}^a (\alpha\beta)_{ij} = 0 = \sum_{j=1}^b (\alpha\beta)_{ij} = 0$$

Siendo:

Y_{ijk} = variable de respuesta (licopeno, β -caroteno, ácido ascórbico)

μ = media general.

α_i = es el efecto del i-ésimo nivel de A (variedad).

β_j = es el efecto del j-ésimo nivel de B (cultivo).

$(\alpha\beta)_{ij}$ = es el efecto de interacción entre A x B.

u_{ijk} = error experimental del nivel A y nivel B.

La **Tabla 13** resume el análisis de varianza (ANOVA) realizado a los datos obtenidos en los frutos de tomate.

Tabla 13. Análisis de varianza (ANOVA) en un diseño factorial de dos factores

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Significación
Total	rab-1	SC total			p < 0.05 (*)
Factor A	a-1	SCA	CMA	CMA/CME	p < 0.01 (**)
Factor B	b-1	SCB	CMB	CMB/CME	p < 0.001 (***)
A*B	(a-1)(b-1)	SC(AB)	CM(AB)	CM(AB)/CME	
Error	ab(r-1)	SCE	CME		

Si la significación indica que no existe diferencias entre las medias ($p > 0.05$) la hipótesis nula es aceptada (H_0)

$$H_0: \bar{\mu}_1 = \bar{\mu}_2 = \dots = \bar{\mu}_a$$

Si la significación indica que existe la diferencias entre las medias ($p < 0.05$) la hipótesis alterna es aceptada (H_a)

$$H_a: \bar{\mu}_1 \neq \bar{\mu}_2 \neq \dots \neq \bar{\mu}_b$$

Igualmente las variables de respuesta han sido relacionadas utilizando la correlación de Pearson e identificando la significación al nivel (*) $p < 0.05$, (**) $p < 0.01$.

Los datos han sido analizados mediante software estadístico **SPSS 14.0** para **Windows**.

Tomate fresco de origen comercial

Para el análisis de las variables de respuesta (licopeno, componentes del color $CIE_{L^*a^*b^*}$ y porcentaje de área de color rojo) se utiliza un experimento unifactorial equilibrado completamente aleatorizado con cuatro repeticiones. Sobre las medias se realiza un análisis de la varianza empleando un modelo de efectos fijos. Si existen diferencias, éstas se identifican mediante el test de Tukey.

El modelo matemático que describe este diseño de acuerdo a **Lara (2001)** es:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + u_{ij} ; i = 1, \dots, I; j = 1, 2, 3, 4 \dots n_i$$

Este modelo debe cumplir las siguientes restricciones:

$$\sum_{i=1}^I n_i \tau_i = 0 \text{ y } E[y_{ij}] = \mu + \tau_i$$

Siendo:

Y_{ij} = variable de respuesta (Licopeno, componentes del color $CIE_{L^*a^*b^*}$, y porcentaje de área de rojo).

μ = media general.

τ_i = efecto del tratamiento i-ésimo.

u_{ij} = error experimental.

La **Tabla 14** resume el análisis de varianza (ANOVA) realizado a los datos obtenidos de los frutos frescos de origen comercial.

Tabla 14. Análisis de varianza (ANOVA) en un diseño unifactorial

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	Significación
Entre grupos	I-1	SC Tr	CMTr	CMTr/CMR	p < 0.05 (*) p < 0.01 (**) p < 0.001 (***)
Dentro de grupos	N-I	SCR	CMR		
TOTAL	N-1	SCT	CMT		

Si la significación indica que no existe diferencias entre las medias ($p > 0.05$) la hipótesis nula es aceptada (H_0)

$$H_0: \bar{\mu}_1 = \bar{\mu}_2 = \dots = \bar{\mu}_a$$

Si la significación indica que existe la diferencias entre las medias ($p < 0.05$) la hipótesis alterna es aceptada (H_a)

$$H_a: \bar{\mu}_1 \neq \bar{\mu}_2 \neq \dots \neq \bar{\mu}_b$$

Igualmente para conocer la relación entre la determinación del licopeno por HPLC y las variables de respuesta se utiliza un modelo regresión lineal simple.

Los datos obtenidos han sido analizados mediante el software estadístico **SPSS 14.0** para **Windows**.

Tomate triturado elaborado

Para evaluar las diferencias en los tomates triturados elaborados en este estudio debido a la materia prima (CE frente EE) y el tipo de elaboración (CE frente CC) las medias obtenidas al inicio del estudio del almacenamiento (muestreo cero) han sido comparadas utilizando el test t–Student.

El estudio del efecto del tiempo de almacenamiento en las características físico-químicas y nutricionales de los tomates triturados se lleva a cabo mediante un experimento unifactorial equilibrado completamente aleatorizado con dos repeticiones por cada una de las elaboraciones. La significación ($p < 0.05$) del efecto del factor se estudia mediante el análisis de la varianza empleando un modelo de efectos fijos. Si existen diferencias estas se identifican mediante el test de Tukey.

El modelo matemático que describe este diseño de acuerdo a **Lara (2001)** es:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + u_{ij}, \quad i = 1, \dots, I; \quad j = 1, 2, \dots, n_i$$

Este modelo debe cumplir las siguientes restricciones:

$$\sum_{i=1}^I n_i \tau_i = 0 \quad \text{y} \quad E \left[y_{ij} \right] = \mu + \tau_i$$

Siendo:

Y_{ij} = variable de respuesta (licopeno, β -caroteno, ácido ascórbico)

μ = media general.

τ_i = efecto del tratamiento i-ésimo.

u_{ij} = error experimental.

Al igual que en la **Tabla 14** las variables de respuesta se analizan mediante un análisis de varianza (ANOVA) para un factor.

Si la significación indica que no existe diferencias entre las medias ($p > 0.05$) la hipótesis nula es aceptada (H_0)

$$H_0: \bar{\mu}_1 = \bar{\mu}_2 = \dots \bar{\mu}_a$$

Si la significación indica que existe la diferencias entre las medias ($p < 0.05$) la hipótesis alterna es aceptada (H_a)

$$H_a: \bar{\mu}_1 \neq \bar{\mu}_2 \neq \dots \bar{\mu}_b$$

Igualmente las variables de respuesta han sido relacionadas utilizando la correlación de Pearson e identificando significación al nivel (*) $p < 0.05$, (**) $p < 0.01$.

Los datos han sido analizados mediante software estadístico **SPSS 14.0** para **Windows**.

Derivados de tomate comerciales

Se determinan los estadísticos descriptivos de las variables con el objeto de estudiar el centrado y dispersión de los datos, así como los coeficientes de correlación lineal para estudiar tendencias y asociaciones. Además, se realiza un análisis de componentes principales sobre las 18 variables para sistematizar la información y elegir aquellas componentes responsables de la mayor parte de la variación. Sobre las coordenadas de las observaciones en los cinco primeros componentes principales se realiza una clasificación ascendente jerárquica empleando la distancia euclídea estándar y la estrategia de agregación de Ward. Esta clasificación se compara con otra realizada sobre tres variables obtenidas a partir de los tres primeros componentes principales. Los datos se analizaron empleando el software estadístico **MINITAB[®] 14** para **Windows**.

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. TOMATE FRESCO

4.1.1. Influencia de la variedad y el tipo de cultivo sobre las características físico-químicas, nutricionales y microscópicas

Se ha procedido a analizar tres variedades de tomate fresco: Lladó, Antillas y Red Spring obtenidas tanto del cultivo ecológico como convencional. Cada una de las variedades se ha obtenido de productores de la misma zona a fin de asegurar que la única diferencia entre las muestras de la misma variedad sea el tipo de cultivo. El origen de cada una de las muestras se recoge en el apartado 3.1.1.

Con el análisis de las muestras se pretende conocer si existe una influencia del tipo de cultivo y/o variedad sobre las características físico-químicas, nutricionales y microscópicas.

4.1.1.1. Características físico-químicas

Se han realizado las determinaciones físico-químicas de **peso, calibre, firmeza, sólidos solubles, fructosa, glucosa, acidez total, Aw, pH, sólidos totales, cenizas, MIA, TSP** y de **las variables colorimétricas L^* , a^* , b^* , a^*/b^* , C° y H°** sobre las tres variedades cultivadas en los dos sistemas de cultivo.

En la **Tabla 15**, se recogen los valores medios de las variables físico-químicas de los frutos de tomate evaluados en este estudio y el análisis de la varianza de dos factores (cultivo y variedad) con interacción aplicado a los datos obtenidos. Las respectivas tablas de ANOVA de cada una de las variables analizadas se encuentran en el **ANEXO A**.

Como se observa en la **Tabla 15** la variedad y el cultivo únicamente no son significativos en tres de las variables analizadas en este estudio: **firmeza, materia insoluble en alcohol (MIA) y total de sustancias pécticas (TSP)**.

En cuanto a la **firmeza** de los frutos analizados, ésta varía entre 2.14 y 3.34 kg (**Tabla 15**). Los valores obtenidos se encuentran dentro del rango registrado por **Flesisher y col. (2006)** y superan a los valores hallados por **Mohammed y col. (1999)** y **Burruezo y col. (2005)**. Aunque no hay diferencias significativas entre las variedades analizadas, autores como **Gajc y col. (2000)**, **Moraru y col. (2004)** y **Mejías y López (2006)** han encontrado en frutos de tomate diferencias significativas debido a la variedad.

Tabla 15. Resultados de los parámetros físico-químicos en tomate fresco (media \pm desviación estándar) y del ANOVA de dos factores (cultivo y variedad)

Variable	Lladó		Red Spring		Antillas		ANOVA de dos factores		
	Convencional	Ecológico	Convencional	Ecológico	Convencional	Ecológico	Cultivo (C)	Variedad (V)	C*V
Peso (g)	174.31 \pm 12.96	101.99 \pm 15.51	106.60 \pm 13.79	111.68 \pm 7.98	203.80 \pm 35.34	218.30 \pm 22.05	*	***	***
Calibre (cm)	7.70 \pm 0.24	6.18 \pm 0.26	4.82 \pm 0.17	4.78 \pm 0.32	7.17 \pm 0.54	8.08 \pm 0.33	**	***	***
Firmeza (kg)	2.93 \pm 0.30	2.92 \pm 0.59	2.39 \pm 0.40	3.34 \pm 1.32	2.14 \pm 0.47	2.41 \pm 0.44	NS	NS	NS
Sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix)	5.11 \pm 0.11	5.13 \pm 0.25	4.36 \pm 0.55	4.63 \pm 0.65	5.16 \pm 0.20	4.86 \pm 0.21	NS	**	NS
Fructosa ⁽¹⁾	1.29 \pm 0.03	1.75 \pm 0.08	1.25 \pm 0.12	1.25 \pm 0.12	1.41 \pm 0.10	1.88 \pm 0.07	***	***	***
Glucosa ⁽¹⁾	1.06 \pm 0.04	1.45 \pm 0.17	0.72 \pm 0.08	0.91 \pm 0.13	0.90 \pm 0.08	1.41 \pm 0.08	***	***	*
Acidez total ⁽²⁾	0.38 \pm 0.00	0.40 \pm 0.02	0.28 \pm 0.05	0.27 \pm 0.03	0.40 \pm 0.01	0.40 \pm 0.01	NS	***	NS
A _w	0.996 \pm 0.01	0.996 \pm 0.01	0.996 \pm 0.00	0.997 \pm 0.01	0.998 \pm 0.01	0.998 \pm 0.00	NS	**	NS
pH	4.39 \pm 0.01	4.34 \pm 0.05	4.66 \pm 0.13	4.65 \pm 0.09	4.46 \pm 0.01	4.40 \pm 0.02	NS	***	NS
Sólidos totales ⁽¹⁾	6.03 \pm 0.05	6.95 \pm 0.20	5.98 \pm 0.20	6.42 \pm 0.39	6.80 \pm 0.07	7.32 \pm 0.09	***	***	NS
Cenizas ⁽¹⁾	0.45 \pm 0.02	0.49 \pm 0.03	0.56 \pm 0.10	0.65 \pm 0.02	0.56 \pm 0.06	0.54 \pm 0.02	NS	***	NS
MIA ⁽³⁾	24.44 \pm 16.15	28.49 \pm 1.01	31.52 \pm 7.91	28.60 \pm 6.33	36.55 \pm 7.98	30.28 \pm 1.86	NS	NS	NS
TSP ⁽⁴⁾	12.67 \pm 8.56	11.72 \pm 4.36	16.64 \pm 5.39	12.63 \pm 4.35	12.08 \pm 2.01	8.72 \pm 5.89	NS	NS	NS
L*	31.95 \pm 1.35	33.20 \pm 2.69	35.44 \pm 2.02	35.43 \pm 2.42	33.05 \pm 1.57	35.09 \pm 2.20	NS	**	NS
a*	30.05 \pm 2.11	30.84 \pm 3.17	31.99 \pm 2.70	33.15 \pm 1.95	22.64 \pm 2.67	24.23 \pm 3.71	NS	***	NS
b*	34.55 \pm 3.27	40.85 \pm 5.10	39.28 \pm 5.54	42.45 \pm 5.96	28.92 \pm 4.79	36.99 \pm 5.71	**	**	NS
a*/b*	0.87 \pm 0.06	0.76 \pm 0.06	0.82 \pm 0.09	0.79 \pm 0.13	0.79 \pm 0.09	0.66 \pm 0.13	*	NS	NS
C*	45.81 \pm 3.52	51.22 \pm 5.70	50.71 \pm 5.62	54.02 \pm 4.35	36.78 \pm 5.03	44.38 \pm 5.46	**	***	NS
H ^o	48.93 \pm 2.09	52.84 \pm 2.13	50.66 \pm 2.95	51.74 \pm 4.73	51.72 \pm 3.50	56.56 \pm 5.44	*	NS	NS

(1) = g/100 g de materia fresca (2)= g de ácido cítrico/100 g de materia fresca (3)= g/100 g de materia seca (4)= g de ácido galacturónico/100 g de materia seca, NS= No significativo (*) significativo p<0.05, (**) significativo p<0.01, (***) significativo p<0.001.

El contenido de **Materia Insoluble en Alcohol (MIA)**, en los frutos analizados, se encuentra entre 24.44 y 36.55 g/100 g de materia seca (**Tabla 15**). Estos valores están incluidos dentro del rango registrado por **Valverde y col. (2002)**.

El **total de sustancias pecticas (TSP)** de las muestras analizadas está entre 8.72 y 16.64 g de ácido galaturónico/100 g de materia seca (**Tabla 15**), valores incluidos en el rango registrado por **Moraru y col. (2004)**. Por el contrario los valores obtenidos en este estudio superan a los registrados por **Valverde y col. (1983)** y **Ruíz y col. (2004)**.

El factor variedad es significativo en 10 de las variables estudiadas: **sólidos solubles, acidez total, Aw, pH, cenizas, L*, a*, sólidos totales, b* y C***, resultando asimismo significativo el factor cultivo en las tres últimas variables (**Tabla 15**). Las variables **a*/b*** y **H°** presentan diferencias significativas debido sólo al factor cultivo (**Tabla 15**).

Los **sólidos solubles** de las muestras de tomate fresco analizadas se encuentran entre 4.36 y 5.16 °Brix (**Tabla 15**). Estos valores están dentro del rango registrado por **Valverde y col. (2002)** y **Benal y col. (2005)**. En los frutos de tomate de la variedad Red Spring los sólidos solubles (4.49 °Brix) difieren estadísticamente de los frutos de la variedad Antillas (5.01 °Brix) y Llado (5.12 °Brix) (**Figura 48**). **Leonardi y col. (2000)**, **Scalfi y col. (2000)**, **Raigón y col. (2002)**, **Wold y col. (2004)**, **Moraru y col. (2004)** y **Ruíz y col. (2005)** han encontrado un efecto de la variedad en el contenido de sólidos solubles, y **Colla y col. (2000)** lo han encontrado debido al tipo de cultivo.

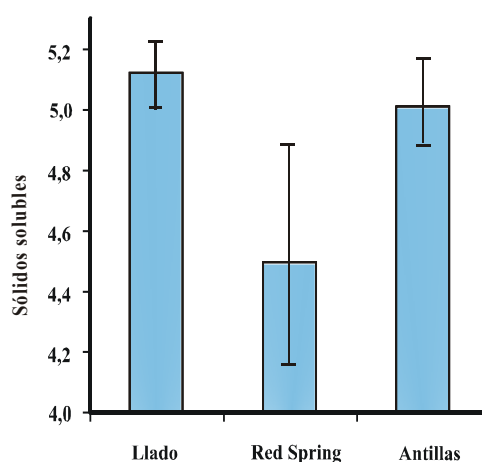


Figura 48. Sólidos solubles (°Brix) de los frutos de tomate analizados

La **acidez total** de los tomates se encuentra entre 0.27 y 0.40 g de ácido cítrico/100 g de materia fresca (**Tabla 15**). Valores similares registran **Gómez y col. (2001)**. Por el contrario los valores indicados por **Benal y col. (2005)** y **Flesisher y col. (2006)** superan los obtenidos en este estudio y **Barba y col. (2004)** presentan valores inferiores.

La acidez en los frutos de la variedad Red Spring (0.27 g de ácido cítrico/100 g de materia fresca) difiere estadísticamente de la de los frutos de la variedad Lladó (0.38 g de ácido cítrico/100 g de materia fresca) y Antillas (0.40 g de ácido cítrico/100 g de materia fresca) (**Figura 49**). En estudios previos **Vecchio y col. (1984)**, **Raigon y col. (2002)** y **Ruíz y col. (2005)** han encontrado diferencias significativas en la acidez a causa de la variedad. Por el contrario, **Adedeji y col. (2006)** y **Fanasca y col. (2006)** no han encontrado diferencias significativas debido a este factor. La acidez no depende del tipo de cultivo en las muestras analizadas en este estudio, sin embargo **Colla y col. (2000)** indican efectos del cultivo sobre este parámetro.

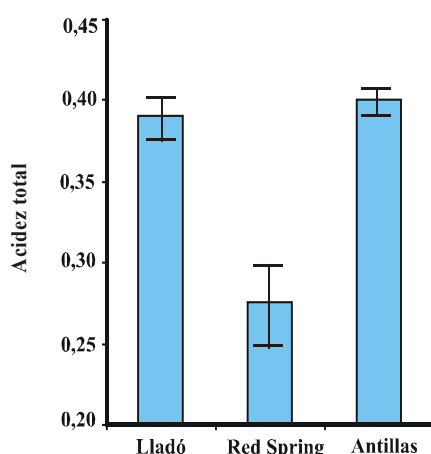


Figura 49. Acidez total (g de ácido cítrico/100 g de materia fresca) en los frutos de tomate analizados

Rosello y col. (2002), **Ruíz y col. (2004)** y **Abegaz y col. (2004)** indican la importancia del contenido de sólidos solubles, la acidez y el contenido de azúcares en la intensidad del sabor y del aroma en el fruto del tomate.

Según **Osvald y col. (2001)**, una adecuada intensidad del sabor en los frutos de tomate se logra cuando el tomate posee valores de sólidos solubles entre 4.80 y 6.60 °Brix, una relación glucosa/fructosa entre 0.70 y 0.95 y una relación de ácido cítrico/málico entre 2.96 y 6.50. De acuerdo a estos autores, todos los frutos de tomate evaluados en este estudio presentan un óptimo nivel de sólidos solubles (**Tabla 15**). Las variedades Red Spring y Antillas de origen convencional describen valores fuera de los recomendados por estos autores en la relación glucosa/fructosa (**Tabla 16**). Los frutos de la variedad Red

Spring del cultivo ecológico superan los valores de la relación cítrico/málico (**Tabla 16**), y los de la variedad Lladó en ambos tipos de cultivo.

Tabla 16. Relaciones entre azúcares y ácidos en los frutos de tomate evaluados

Variedad	Cultivo	Glucosa/fructosa	Cítrico/málico
Lladó	convencional	0.82	13.77
	ecológico	0.83	8.68
Red Spring	convencional	0.58	6.04
	ecológico	0.73	7.17
Antillas	convencional	0.63	4.54
	ecológico	0.75	4.86

La **actividad de agua (Aw)** de las muestras analizadas se encuentra entre 0.996 y 0.998 (**Tabla 15**). **Frazier y Westhoff (1993)** indican valores similares para este tipo de producto. Estadísticamente los frutos de la variedad Antillas (0.998) difieren de los frutos de las variedades Lladó (0.996) y Red Spring (0.997).

Respecto al **pH**, los tomates analizados presentan valores comprendidos entre 4.34 y 4.66 (**Tabla 15**). Estos valores coinciden con los registrados previamente por **Barba y col. (2004)** y **Benal y col. (2005)**, pero son superiores a los indicados por **Gómez y col. (2001)**.

En esta variable la variedad Red Spring (4.66) difiere estadísticamente de los frutos de la variedad Lladó (4.36) y de la variedad Antillas (4.43). Autores como **Scalfi y col. (2000)**, **Gómez y col. (2001)** y **Moraru y col. (2004)** también encontraron diferencias significativas en el pH debido a la variedad.

Si bien en el presente estudio no se ha encontrado influencia del cultivo sobre este parámetro físico-químico (**Tabla 15**), **Colla y col. (2000)** si lo han encontrado al comparar tomates ecológicos frente a convencionales.

Las **cenizas** de los frutos analizados varían entre 0.45 y 0.65 g/100 de materia fresca (**Tabla 15**). Los valores de este parámetro en los frutos de la variedad Lladó (0.47 g/100 de materia fresca) se diferencian estadísticamente de los frutos de las variedades Antillas (0.55 g/100 de materia fresca) y Red Spring (0.61 g/100 de materia fresca). Por el contrario **Adedeji y col. (2006)** al evaluar cuatro variedades de tomate no encuentran influencia significativa de este factor en el contenido de cenizas.

El atributo cromático **L*** varía entre 31.95 y 35.44 (**Tabla 15**), valores similares a los encontrados por **Burruezo y col. (2005)** e inferiores a los indicados por otros autores como **Arias y col. (2000)**, **Gómez y col. (2001)** y **Ruiz y col. (2005)**.

Los frutos de la variedad Lladó (32.57) difieren estadísticamente de los de las variedades Antillas (34.07) y Red Spring (35.43). **Leonardi y col. (2000)**, **Gómez y col. (2001)**, **Raigón y col. (2002)**, **Wold y col. (2004)**, **Moraru y col. (2004)** y **Ruíz y col. (2005)** han encontrado igualmente diferencias estadísticamente significativas en el brillo debido a la variedad.

La coordenada de tonalidad verde-roja a^* de las muestras evaluadas se encuentra entre 22.64 y 33.15 (**Tabla 15**). Los valores obtenidos están dentro del rango expuesto por **Gómez y col. (2001)**, pero difieren de los registrados por **Ruíz y col. (2005)** y **Moraru y col. (2004)**. Los frutos de la variedad Antillas (23.44) difieren estadísticamente de los de las variedades Lladó (30.45) y Red Spring (32.57) (**Figura 50**). Aunque autores como **Raigón y col. (2002)** y **Ruíz y col. (2005)** no han encontrado diferencias significativas debidas a la variedad, otros autores como **Gómez y col. (2001)**, **Wold y col. (2004)** y **Moraru y col. (2004)** sí las han encontrado.

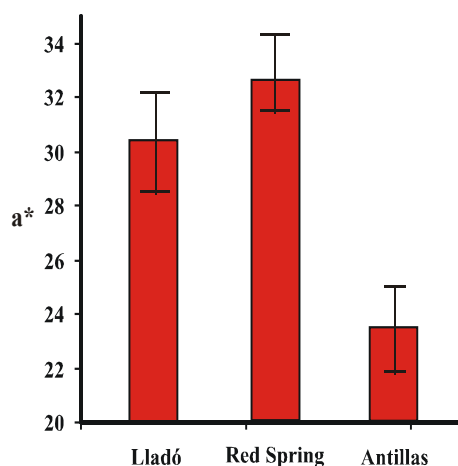


Figura 50. Valores de a^* en los frutos de tomates analizados

Los **sólidos totales** de las muestras analizadas oscilan entre 5.98 y 7.32 g/100 g de materia fresca (**Tabla 15**). Estos valores son similares a los registrados por otros autores (**Vecchio y col., 1984**; **Loiudice y col., 1995**; **Mohammed y col., 1999** y **Wold y col., 2004**).

La variedad Antillas presenta estadísticamente la mayor concentración de esta variable frente a Lladó y Red Spring y en todos los casos el cultivo de origen ecológico presenta las mayores concentraciones (**Figura 51**). **Moraru y col. (2004)**, **Adedeji y col. (2006)**, **Flesisher y col. (2006)** y **Fanasca y col. (2006)** han encontrado igualmente diferencias en los sólidos totales debido al factor variedad. En estudios previos **Caris-Veyrat y col. (2004)** registran resultados similares respecto al cultivo.

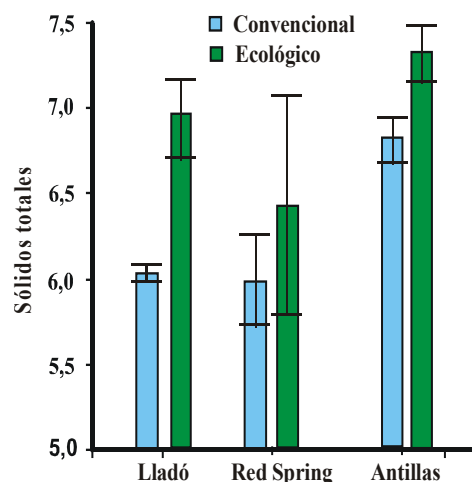


Figura 51. Concentración de sólidos totales (g/100 g de materia fresca) en los frutos de tomate analizados

El componente de color azul-amarillo b^* de las muestras analizadas presenta valores entre 28.92 y 42.45 (Tabla 15). Gómez y col. (2002) y Ruíz y col. (2005) indican valores similares. Por el contrario Arias y col. (2000) han obtenido valores inferiores a este estudio. La variedad Antillas difiere estadísticamente de las variedades Lladó y Red Spring al presentar el menor valor de esta variable colorimétrica. Gómez y col. (2001), Moraru y col. (2004) y Ruíz y col. (2005), han descrito previamente la influencia de la variedad en este parámetro colorimétrico en frutos de tomate, al contrario de lo indicado por Raigón y col. (2002).

El parámetro colorimétrico b^* de los frutos de tomate de origen ecológico presenta valores estadísticamente superiores a los encontrados en frutos de producción convencional (Tabla 15).

La cromaticidad C^* de las muestras analizadas varía entre 36.78 y 54.02 (Tabla 15), resultados similares a los obtenidos por Gómez y col. (2001), Arias y col. (2000) y Ruíz y col. (2005). La variedad Antillas se diferencia estadísticamente de las variedades Lladó y Red Spring al presentar el menor valor de este atributo colorimétrico (Tabla 15). Gómez y col. (2001), Moraru y col. (2004) y Ruíz y col. (2005) han descrito previamente la influencia de la variedad en este parámetro colorimétrico en frutos de tomate. En todos los casos las muestras de origen ecológico presentan mayor valor de cromaticidad que las de procedencia convencional (Tabla 15).

En la relación a^*/b^* los tomates analizados presentan valores comprendidos entre 0.66 y 0.87 (Tabla 15). Estos valores están dentro del rango registrado por Gómez y col. (2001), pero son ligeramente inferiores a los indicados por Arias y col. (2000). Contrario

al presente estudio **Gómez y col. (2001)** y **Raigón y col. (2002)**, han descrito previamente la influencia de la variedad en este parámetro en frutos de tomate. En cuanto al cultivo las muestras de origen convencional superan a los frutos de procedencia ecológica (**Tabla 15**).

El tono (**H°**) de las muestras evaluadas varía entre 48.93 y 56.56 (**Tabla 15**). Estos valores se encuentran en el rango descrito por **Burruezo y col. (2005)**, sin embargo, son superiores a los indicados por **Ruíz y col. (2005)**. Igualmente **Ruíz y col. (2005)** no han encontrado efecto alguno de la variedad sobre éste parámetro. Por el contrario **Thompson y col. (2000)** y **Leonardi y col. (2000)** si lo han encontrado en frutos de tomate. En el presente estudio, el tono de los frutos de origen ecológico supera al de las muestras convencionales.

La interacción es significativa en cuatro de las determinaciones realizadas: peso, calibre, fructosa y glucosa (**Tabla 15**). En este caso es necesario el tratamiento de los datos de forma independiente por variedad o por cultivo (**Tabla 17**).

En cuanto al **peso** y el **calibre** de las muestras analizadas, se encuentran entre 101.99 a 218.30 g y entre 4.78 a 8.08 cm, respectivamente (**Tabla 15**). Al analizar los datos por variedad (**Tabla 17**), se encuentra que la variedad Antillas presenta valores significativamente superiores a las otras dos variedades (**Tabla 15**). En estudios previos realizados por **Vecchio y col. (1984)**, **Scalfi y col. (2000)**, **Raigon y col. (2002)**, **Moraru y col. (2004)** y **Adedeji y col. (2006)** se ha visto igualmente un efecto de la variedad sobre el peso del tomate fresco y **Vecchio y col. (1984)**, **Leonardi y col. (2000)** y **Raigón y col. (2002)** coinciden en que la variedad influye significativamente en el calibre.

Para conocer el efecto del cultivo, en cada una de las variedades se aplicó el test t-Student, (**Tabla 17**). Solo la variedad Lladó se ve afectada tanto en el peso como en el calibre por el tipo de cultivo (**Tabla 17**), superando los frutos de procedencia convencional a sus similares ecológicos (**Tabla 15**).

Tabla 17. Análisis de varianza de un factor (variedad) y test t-Student (cultivo)

Variable	Variedad (1)		Cultivo(2)		
	Convencional	Ecológico	Lladó	Red Spring	Antillas
Peso	***	***	***	NS	NS
Calibre	***	***	***	NS	NS
Fructosa	NS	***	**	NS	***
Glucosa	***	***	*	*	***

Análisis de Tukey (1); test t-Student (2).

NS= No significativo, (*) significativo $p < 0.05$, (**) significativo $p < 0.01$, (***) significativo $p < 0.001$.

La concentración de **fructosa** en las muestras analizadas varía entre 1.25 y 1.88 g/100 g de materia fresca (**Tabla 15**). Los valores obtenidos en este estudio están dentro del rango expuesto por **Loiudice y col. (1995)**, **Ruíz y col. (2004)** y **Stommel y col. (2005)**. Diferencias estadísticas entre variedades solo se han encontrado en los tomates procedentes del cultivo ecológico (**Tabla 17**), así la variedad Red Spring difiere estadísticamente de las variedades Antillas y Lladó al presentar la menor concentración de este azúcar reductor (**Figura 52**). El cultivo solo afecta a las variedades Lladó y Antillas (**Tabla 17**), presentando los tomates de origen ecológico una mayor concentración de fructosa en ambos casos (**Figura 52**).

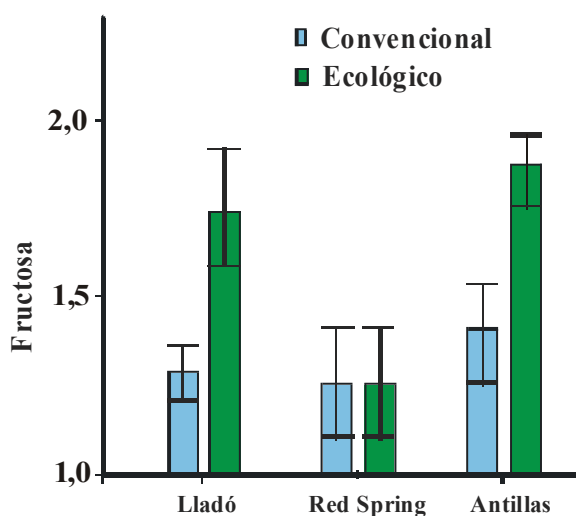


Figura 52. Concentración de fructosa (g/100 g de materia fresca) en los frutos de tomate analizados

El contenido de **glucosa** de los frutos analizados varía entre 0.72 y 1.45 g/100 g de materia fresca (**Tabla 15**). El contenido de este azúcar reductor en las muestras analizadas coincide con lo indicado por otros autores como **Loiudice y col. (1995)**, **Ruíz y col. (2004)** y **Stommel y col. (2005)**. Las tres variedades analizadas difieren estadísticamente entre sí, siendo los frutos de la variedad Lladó los que mayor concentración de glucosa presentan seguidos por los de las variedades Antillas y Red Spring (**Figura 53**). En cuanto al cultivo en todos los casos los frutos de origen ecológico superan a sus similares convencionales (**Tabla 15**).

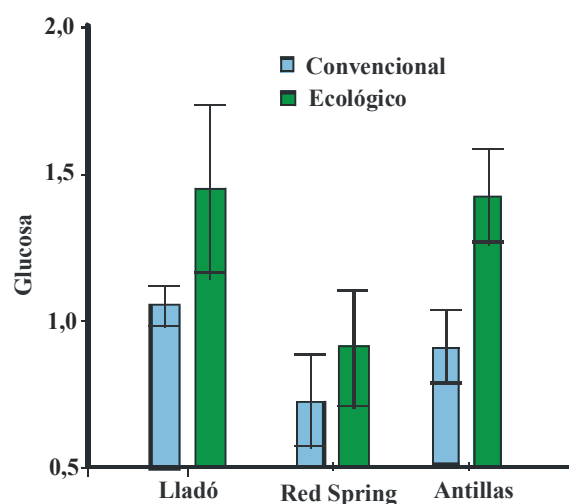


Figura 53. Concentración de de glucosa (g/100 g de materia fresca) en los frutos de tomate analizados

4.1.1.2. Características nutricionales

Se han realizado las determinaciones de **licopeno**, **β -caroteno**, **compuestos fenólicos totales**, **ácido oxálico**, **málico**, **ascórbico**, **cítrico** y **fumárico** y los elementos minerales **K**, **Ca**, **Na**, **Mg**, **Fe**, **Zn**, **Mn**, **Cu** y **Se** en las muestras de tomate de las tres variedades obtenidas tanto del cultivo ecológico como del convencional.

En la **Tabla 18**, se recoge la concentración de los micronutrientes evaluados y el análisis de varianza de dos factores (variedad y cultivo) con interacción aplicado sobre los datos obtenidos. Las respectivas tablas de ANOVA de cada una de las variables analizadas se encuentran en el **ANEXO A**.

Tal como se puede observar en dicha **Tabla 18**, las únicas variables que no están influenciadas por el cultivo y por la variedad son **sodio**, **magnesio** y **selenio** ya que no presentan diferencias significativas debido a estos dos factores.

Tabla 18. Resultados de los micronutrientes evaluados en los tomates frescos, expresados en mg/100 g de materia fresca (medias \pm desviación estándar) y del ANOVA de dos factores (cultivo y variedad)

Variable	Lladó		Red Spring		Antillas		ANOVA de dos factores		
	Convencional	Ecológico	Convencional	Ecológico	Convencional	Ecológico	Cultivo (C)	Variedad (V)	C*V
Licopeno	6.38 \pm 0.14	5.51 \pm 1.71	11.86 \pm 3.24	10.49 \pm 1.15	1.41 \pm 0.18	1.46 \pm 0.58	NS	***	NS
-caroteno	4.44 \pm 0.77	3.90 \pm 0.35	1.57 \pm 0.03	1.49 \pm 0.06	1.30 \pm 0.08	2.02 \pm 0.65	NS	***	*
Compuestos fenólicos totales ⁽¹⁾	9.75 \pm 1.44	13.02 \pm 0.94	17.51 \pm 3.11	18.76 \pm 1.71	14.94 \pm 2.70	14.52 \pm 5.83	NS	**	NS
Ácido oxálico	14.34 \pm 2.99	13.54 \pm 2.03	11.81 \pm 1.79	13.98 \pm 3.48	21.14 \pm 5.02	3.86 \pm 0.41	***	NS	***
Ácido málico	17.37 \pm 2.54	19.40 \pm 1.10	26.98 \pm 10.84	28.81 \pm 16.94	63.63 \pm 9.53	47.75 \pm 15.50	NS	***	NS
Ácido ascórbico	10.60 \pm 2.25	11.16 \pm 0.71	10.00 \pm 1.53	14.61 \pm 1.06	5.99 \pm 0.18	12.68 \pm 1.11	***	**	**
Ácido cítrico	239.25 \pm 8.30	255.50 \pm 17.00	162.95 \pm 34.94	205.60 \pm 27.82	289.00 \pm 23.96	232.00 \pm 42.76	NS	***	**
Ácido fumárico	2.06 \pm 0.43	1.40 \pm 0.08	1.85 \pm 0.48	1.98 \pm 0.40	2.56 \pm 0.10	2.62 \pm 0.06	NS	***	*
K	191.42 \pm 36.28	209.95 \pm 37.54	223.44 \pm 28.57	281.69 \pm 31.87	236.54 \pm 6.88	228.50 \pm 26.02	NS	**	NS
Ca	15.97 \pm 4.33	23.13 \pm 5.91	13.90 \pm 2.84	12.50 \pm 0.83	17.89 \pm 4.43	16.29 \pm 1.19	NS	*	*
Na	12.41 \pm 7.78	11.78 \pm 8.16	11.74 \pm 2.13	15.80 \pm 2.81	11.91 \pm 4.70	12.47 \pm 1.80	NS	NS	NS
Mg	11.18 \pm 1.11	11.88 \pm 0.55	11.61 \pm 1.88	13.01 \pm 1.22	10.30 \pm 1.47	11.20 \pm 0.39	NS	NS	NS
Fe	1.37 \pm 0.35	1.14 \pm 0.39	0.73 \pm 0.28	0.74 \pm 0.30	0.76 \pm 0.48	0.54 \pm 0.32	NS	**	NS
Zn	0.22 \pm 0.01	0.33 \pm 0.07	0.18 \pm 0.03	0.21 \pm 0.04	0.16 \pm 0.05	0.14 \pm 0.02	*	***	*
Mn	0.09 \pm 0.00	0.13 \pm 0.01	0.09 \pm 0.01	0.09 \pm 0.02	0.05 \pm 0.01	0.06 \pm 0.00	**	***	*
Cu	0.11 \pm 0.03	0.09 \pm 0.02	0.08 \pm 0.01	0.07 \pm 0.01	0.05 \pm 0.02	0.05 \pm 0.00	NS	***	NS
Se	0.02 \pm 0.00	0.02 \pm 0.00	0.02 \pm 0.0	0.01 \pm 0.00	0.02 \pm 0.01	0.02 \pm 0.01	NS	NS	NS

(1)= mg de ácido gálico/100 g de materia fresca, NS= No significativo (*), ** significativo p<0.05, (***) significativo p<0.01, (****) significativo p<0.001

Los valores de **Sodio** de las muestras de tomate evaluados se sitúan entre 11.74 y 15.80 mg/100 g de materia fresca (**Tabla 18**). El nivel de sodio en las muestras evaluadas supera igualmente los valores registrados por **Loiudice y col. (1995)**. **Anza y col. (2006)**, encontraron un efecto de la variedad del tomate en el contenido de este mineral.

La concentración de **Magnesio** en los tomates analizados se encuentra entre 10.30 y 13.01 mg/100 g de materia fresca (**Tabla 18**). Estos son similares a los registrados por **Loiudice y col. (1995)**. **Fanasca y col. (2006)** y **Rodríguez y col. (2001)** no registran tampoco un efecto de la variedad sobre el contenido de este mineral, contrario a lo registrado por **Anza y col. (2006)**. La concentración de **Selenio** en las muestras de tomate varía entre 0.01 y 0.02 mg/100 g de materia fresca (**Tabla 18**).

Seis variables evaluadas en este estudio se ven únicamente afectadas por la variedad: **licopeno, compuestos fenólicos totales, ácido málico, y los minerales K, Fe, y Cu (Tabla 18)**.

El contenido en **licopeno** de las muestras analizadas se encuentra entre 1.41 y 11.86 mg/100 g de materia fresca (**Tabla 15**). El licopeno es el responsable del color rojo típico del fruto de tomate maduro y representa alrededor del 83% del total de los pigmentos (**Thakur y col., 1996**). Dos de las variedades analizadas Lladó y Red Spring superan los valores reportados por **Thompson y col. (2000)** y **Benal y col. (2005)** pero son similares a los presentados por **Gómez y col. (2001)**. El valor medio de licopeno se diferencia estadísticamente en las tres variedades, siendo mayor el contenido en Red Spring, seguido por Lladó y, finalmente, Antillas (**Figura 54**). Diferencias en el contenido de licopeno debido a la variedad del tomate han sido indicadas previamente por **Thompson y col. (2000)**, **Abushita y col. (2000)**, **Leonardi y col. (2000)**, **George y col. (2004)**, **Benal y col. (2005)** y **Kuti y Konuro (2005)**.

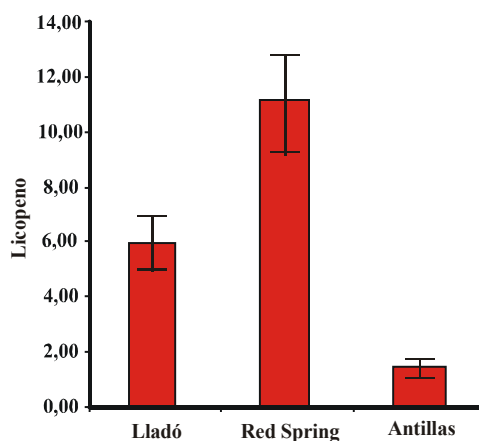


Figura 54. Concentración de licopeno (mg/100 g de materia fresca) en los frutos de tomates evaluados

Aún cuando este importante atributo de calidad puede estar influenciado por diferencias en el genotipo, condiciones ambientales y los métodos de producción (tipo de suelo, disposición de nutrientes y agua, entre otros) (Lee y col., 1997; Valverde y col., 2002; Kimura y Rodríguez-Amaya, 2003; Dumas y col., 2003; Heeb y col., 2005; Gautier y col., 2005 y Toor y col., 2006b), los tomates procedentes de cultivo ecológico y convencional no se diferencian de forma significativa en función del contenido de licopeno (Tabla 18). Similares resultados ha encontrado Lumpkin (2005), mientras que Caris-Veyrat y col. (2004) indican que al comparar los dos tipos de cultivo los tomates ecológicos presentan significativamente mayor contenido de licopeno.

El parámetro colorimétrico a^* posee una correlación significativa con el contenido de licopeno ($r=0.91$, $p<0.05$), lo que coincide con lo expresado por Arias y col. (2000), Nguyen y col. (2001) y Kozukue y Friedman (2003).

Los **compuestos fenólicos totales** de las muestras evaluadas se encuentran entre 9.75 y 18.76 mg ácido gálico/100 g de materia fresca (Tabla 18). Estos valores son inferiores a los reportados por Toor y col. (2006a, 2006b) y Luthria y col. (2006).

Los frutos de Red Spring al presentar la mayor concentración de los compuestos fenólicos totales se diferencian estadísticamente de los de Antillas y Lladó (Figura 55). Al igual que en este estudio, Valverde y col. (2002), George y col. (2004) y Anza y col. (2006) han encontrado diferencias significativas en el contenido en compuestos fenólicos en muestras de tomate en fresco debidas a la variedad, a diferencia de otros autores como Senter y col. (1988) y Giovanelli y col. (1999).

Los niveles de compuestos fenólicos totales de las muestras evaluadas no difieren estadísticamente entre los tomates de procedencia ecológica y convencional. (Tabla 15). Igualmente Lumpkin (2005) y Toor y col. (2006a) tampoco encuentran diferencias significativas en el contenido total de fenoles en tomates debido al tipo de cultivo.

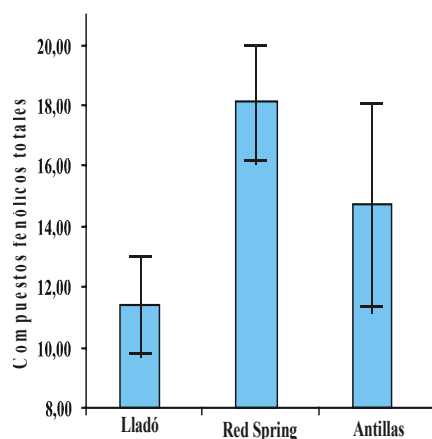


Figura 55. Concentración de compuestos fenólicos totales (mg de ácido gálico/100 g de materia fresca) en los frutos de tomates evaluados

El rango de **ácido málico** de las seis muestras de tomate fresco analizadas se encuentra entre 17.37 y 63.63 mg/100 g de materia fresca (**Tabla 18**). El contenido de este ácido orgánico en tomate ha sido investigado por **Gómez y col. (2001)** (33.37-100.89 mg/100 g de materia fresca) y **Ruíz y col. (2004)** (48-485 mg/100 g de materia fresca). De las muestras analizadas solo la variedad Antillas presenta contenidos de ácido málico similares a los reportados por estos autores. Los tomates de la variedad Antillas además se diferencian estadísticamente de los de las variedades Red Spring y Lladó al presentar la mayor concentración de este ácido (**Tabla 18**). **Bucheli y col. (1999)** y **Gómez y col. (2001)** han encontrado igualmente influencia de la variedad en el contenido de este ácido orgánico.

El cultivo no afecta al contenido de ácido málico en las muestras analizadas (**Tabla 18**). **Woese y col. (1997)**, al realizar una revisión de diferentes estudios en los que se evaluaban el contenido de ácidos orgánicos (málico, cítrico y oxálico) en espinacas, zanahoria y apio, no encontraron tampoco diferencias significativas entre los productos ecológicos y los convencionales. **Lombardi-Boccia y col. (2004)** indican igualmente no haber encontrado diferencias significativas en el ácido málico en ciruelas amarillas producidas en los dos tipos de cultivo.

El contenido en **potasio** de los frutos analizados varía entre 191.42 y 281.69 mg/100 g de materia fresca (**Tabla 18**). Los valores de K son similares a los registrados por **Loiudice y col. (1995)**. El potasio es un elemento esencial que representa más del 80% del total de los minerales presentes en el tomate (**USDA. 2005**).

La variedad Red Spring se diferencia estadísticamente en el contenido de K, ya que presenta una mayor concentración que las variedades Antillas y Lladó (**Figura 56**). **Anza y col. (2006)** igualmente indican la existencia de un efecto de la variedad en el nivel de este mineral en frutos de tomate. Por el contrario, **Fanasca y col. (2006)** al evaluar dos variedades de tomate no registran efecto alguno de la variedad sobre el contenido de este mineral.

Al igual que en este estudio, **Rodríguez y col. (2001)** al evaluar frutos de tomate no encontraron un efecto del cultivo en este micronutriente.

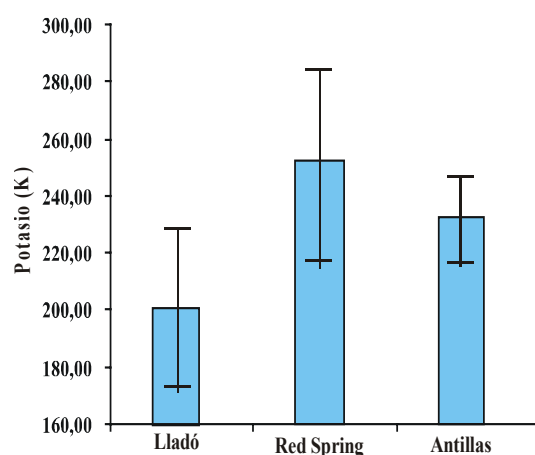


Figura 56. Concentración de potasio (mg/100 g de materia fresca) en los frutos de tomates evaluados

El nivel de **hierro y cobre** de los frutos analizados se encuentran dentro de los intervalos 0.54-1.37 y 0.05-0.11 mg/100 g de materia fresca, respectivamente (**Tabla 18**). El hierro supera los valores medios registrados por **USDA (2005)** en frutos de tomate. Los frutos de la variedad Lladó se diferencian estadísticamente en el contenido de estos dos minerales de los de las variedades Red Spring y Antillas al presentar los mayores niveles (**Tabla 18**). **Ruíz y col. (2005)** y **Anza y col. (2006)** igualmente registran un efecto de la variedad en estos dos micronutrientes. **Rodríguez y col. (2001)** al evaluar frutos de tomate no han encontrado un efecto del cultivo sobre el contenido de hierro.

Se observa en la **Tabla 18**, que la interacción de los dos factores es significativa en ocho de las determinaciones realizadas: **β-caroteno, ácido ascórbico, ácido oxálico, ácido cítrico, ácido fumárico, calcio, zinc y manganeso**. En estos casos es necesario el tratamiento de los datos de forma independiente por variedad o por cultivo (**Tabla 19**).

Tabla 19. Análisis de la varianza de un factor (variedad) y test t-Student (cultivo)

Micronutrientes	Variedad (1)		Cultivo (2)		
	Convencional	Ecológico	Lladó	Red Spring	Antillas
-Caroteno	***	***	NS	NS	NS
ácido ascórbico	**	**	NS	*	**
ácido oxálico	*	***	NS	NS	***
ácido cítrico	***	NS	NS	NS	NS
ácido fumárico	NS	***	NS	NS	NS
Ca	NS	*	NS	NS	NS
Zn	NS	**	NS	NS	NS
Mn	*	***	*	NS	NS

Análisis de Tukey (1); test t-Student (2).

NS= No significativo, (*) significativo $p < 0.05$, (**) significativo $p < 0.01$, (***) significativo $p < 0.001$.

En cuanto al contenido en **β -caroteno** de las muestras analizadas se encuentra entre 1.30 y 4.44 mg/100 g de materia fresca (**Tabla 18**). Los valores obtenidos superan los reportados por **Muller (1997)**, **Leonardi y col. (2000)** y **Caputo y col. (2004)** pero son similares a los descritos por **Cabibel y Perry (1980)** y **Hanson y col. (2004)**.

Al analizar los datos por tipo de cultivo realizando un ANOVA de un factor (**variedad**), y para cada tipo de cultivo (**Tabla 19**), se confirma que la variedad influye sobre el contenido de β -caroteno.

Para las muestras de procedencia ecológica la variedad Lladó se diferencia significativamente de las otras dos. Este comportamiento se repite para las muestras procedentes del cultivo convencional (**Tabla 18**). **Abushita y col. (1997)** indican que la variedad afecta el contenido total de los carotenoides, particularmente en la formación del β -caroteno por vía de la ciclización del licopeno. Igualmente, **Leonardi y col. (2000)** y **Abushita y col. (2000)**, reportan diferencias en el contenido de β -caroteno debido a la variedad, contrariamente a lo que indican **Fanasca y col. (2006)**.

Para conocer el efecto del cultivo, en cada una de las variedades se aplicó el test t-Student, (**Tabla 19**). Se aprecia que, estadísticamente, el tipo de cultivo no afecta el contenido de β -caroteno en cada una de las variedades analizadas. Estos resultados coinciden con los indicados por **Lumpkin (2005)**. Por el contrario **Caris-Veyrat y col. (2004)** no observaron diferencias significativas debido a la variedad, pero si, debido al tipo de cultivo e indican que los tomates ecológicos presentan mayor contenido de β -caroteno. El contenido de **ácido ascórbico** en las muestras analizadas se encuentra entre 5.99 y 14.61 mg/100 g de materia fresca (**Tabla 18**). Estos valores superan ligeramente los registrados por **Benal y col. (2005)**, pero se encuentran dentro del rango indicado por **Ruíz y col. (2004)**, salvo las muestras de la variedad Antillas de origen convencional que presentan una concentración inferior a la registrada por estos autores.

El análisis de un factor (**Tabla 19**) confirma que la variedad influye en el contenido de ácido ascórbico de las muestras analizadas. En el cultivo convencional, la variedad Antillas se diferencia estadísticamente de las otras dos al presentar el menor valor de ácido ascórbico. En el cultivo ecológico es la variedad Red Spring la que se diferencia estadísticamente de las variedades Antillas y Lladó al presentar la mayor concentración de este ácido (**Figura 57**). El efecto de la variedad en el contenido de ácido ascórbico ha sido previamente indicado por **Abushita y col. (1997)**, **Abushita y col. (2000)**, **George y col. (2004)**, **Moraru y col. (2004)**, **Anza y col. (2006)** y **Adedeji y col. (2006)**. Por el

contrario **Fanasca y col. (2006)** no registran efecto alguno de la variedad en el nivel de este antioxidante en muestras de tomate.

En la **Tabla 19**, se aprecia estadísticamente que el tipo de cultivo afecta al contenido de ácido ascórbico en las variedades Red Spring y Antillas pero no en la variedad Lladó. Tanto el tomate Red Spring como el tomate Antillas de origen ecológico presentan un mayor contenido de ácido ascórbico que el de procedencia convencional (**Figura 57**).

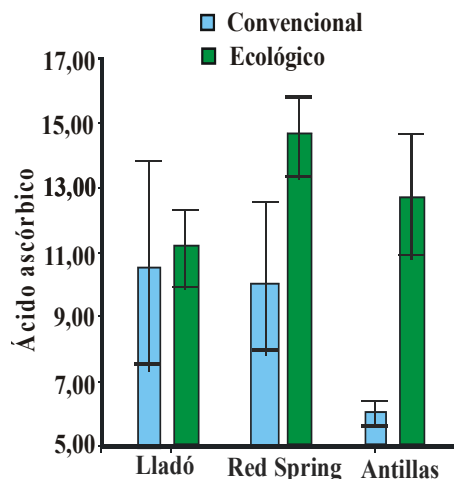


Figura 57. Concentración de ácido ascórbico (mg/100 g de materia fresca) en los frutos de tomates evaluados

Caris-Veyrat y col. (2004) y **Toor y col. (2006a)** al evaluar tomates ecológicos frente a convencionales han encontrado igualmente mayor concentración de ácido ascórbico en los frutos ecológicos. Como se ha comentado previamente factores como el tipo de cultivar y métodos de producción pueden afectar al contenido de éste micronutriente.

El **ácido oxálico** varía entre 3.86 y 21.14 mg/100 de materia fresca (**Tabla 18**). Los valores obtenidos en este estudio son inferiores a los registrados por **Ruíz y col. (2004)**. La variedad y el cultivo afectan a la concentración de este ácido (**Tabla 19**). Los frutos de la variedad Antillas de origen convencional se diferencian estadísticamente al presentar el mayor contenido de este ácido frente a los frutos de las variedades Lladó y Red Spring (**Tabla 18**).

Igualmente la variedad Antillas de origen ecológico se diferencia estadísticamente al presentar el menor contenido de este ácido ante las otras dos variedades (**Tabla 18**). El cultivo solo influye estadísticamente en los frutos de la variedad Antillas (**Tabla 19**),

siendo las muestras de origen convencional las que presentan mayor concentración de ácido oxálico que las de procedencia ecológica (**Tabla 18**).

Las muestras de tomate evaluadas presentan un contenido de **ácido cítrico** comprendido entre 162.95 y 289.00 mg/100 g de materia fresca (**Tabla 18**), lo que coincide con los valores indicados por otros autores (**Gómez y col., 2001** y **Ruíz y col., 2004**). Respecto al efecto de la variedad (**Tabla 19**), se observa que este factor influye sólo en los tomates de origen convencional, presentándose diferencias entre los tomates de las tres variedades (**Tabla 18**). Diferencias significativas debido a la variedad han sido registradas igualmente por **Bucheli y col. (1999)** y **Gómez y col. (2001)**.

En cuanto al efecto del cultivo (**Tabla 19**), se aprecia que estadísticamente el tipo de cultivo no influye en el contenido de este ácido orgánico en los tomates de estas variedades. Igualmente, **Woese y col. (1997)** no han encontrado diferencias significativas debido al cultivo en el contenido de ácido cítrico en espinacas, zanahoria y apio. Por el contrario **Lombardi-Boccia y col. (2004)** han obtenido valores de ácido cítrico significativamente mayores en ciruelas amarillas producidos convencionalmente.

La concentración de **ácido fumárico** de las muestras evaluadas de tomate fresco se sitúa entre 1.40 y 2.62 mg/100 g de materia fresca (**Tabla 18**). Estos valores están dentro del rango presentado por **Ruíz y col. (2004)**. Se observa en la **Tabla 19** que existe un efecto de la variedad solo en los tomates de origen ecológico presentándose diferencias significativas entre las tres variedades de tomate (**Tabla 18**). El tipo de cultivo no afecta el contenido de ácido fumárico en las muestras analizadas (**Tabla 19**).

El **calcio** en las muestras evaluadas presenta una concentración entre 12.50 y 23.13 mg/100 g de materia fresca (**Tabla 18**). Estos valores difieren a los registrados por **Loiudice y col. (1995)**. Se observa en la **Tabla 19** que existe un efecto de la variedad solo en los tomates de origen ecológico, la variedad Lladó se diferencia estadísticamente de las variedades Antillas y Red Spring al presentar la mayor concentración de este mineral (**Tabla 18**). **Fanasca y col. (2006)** al evaluar dos variedades de tomate de origen convencional no registran efecto alguno de la variedad. Por el contrario, **Anza y col. (2006)** si encuentran un efecto de la variedad en frutos de tomate convencionales. El tipo de cultivo no influye en este micronutriente en las muestras analizadas (**Tabla 19**), al igual que en este estudio **Rodríguez y col. (2001)** indican no haber encontrado un efecto del cultivo en este micronutriente al evaluar frutos de tomate.

El nivel de **zinc**, en las muestras analizadas varía entre 0.14 y 0.33 mg/100 g de materia fresca (**Tabla 18**). En la **Tabla 19**, se observa que la variedad influye sólo en los tomates

de origen ecológico, siendo los frutos de la variedad Lladó los que estadísticamente se diferencian de las variedades de Red Spring y Antillas al presentar la mayor concentración de este mineral (**Tabla 18**). **Ruíz y col. (2005)** y **Anza y col. (2006)** igualmente registran un efecto de la variedad en este micronutriente. El tipo de cultivo no afecta a la concentración de Zn en las muestras analizadas (**Tabla 19**), resultados que coinciden con los presentados por **Rodríguez y col. (2001)**.

En las muestras analizadas la concentración de **manganeso** varía entre 0.05 y 0.13 mg/100 g de materia fresca (**Tabla 18**). La variedad afecta al contenido de este mineral en los tomates procedentes de los dos tipos de cultivo (**Tabla 19**). En los frutos de origen ecológico se presentan diferencias significativas entre las tres variedades y en los frutos convencionales la variedad Antillas se diferencia estadísticamente de Lladó y Red Spring al presentar la menor concentración de este mineral (**Tabla 18**). **Ruíz y col. (2005)** y **Anza y col. (2006)** igualmente registran un efecto de la variedad en este micronutriente. El cultivo solo influye en la variedad Lladó (**Tabla 19**) siendo los frutos ecológicos los que presentan una mayor concentración (**Tabla 18**). **Rodríguez y col. (2001)** tampoco han encontrado un efecto del cultivo sobre el contenido de este mineral.

Con todos los datos obtenidos en las muestras analizadas se han realizado el análisis de correlación de Pearson. Se comprueba que un valor alto de acidez total en los frutos de tomate evaluados se ven altamente correlacionado con valores bajos de pH ($r=-0.95$, $p<0.01$), cenizas ($r=-0.92$, $p<0.01$), licopeno ($r=-0.91$, $p<0.05$), compuestos fenólicos totales ($r=-0.90$, $p<0.05$), K ($r=-0.87$, $p<0.05$) y Mg ($r=-0.86$, $p<0.05$), y con valores altos de ácido cítrico ($r=0.83$, $p<0.05$) y sólidos solubles ($r=0.88$, $p<0.05$).

La correlación negativa con las cenizas probablemente se debe al efecto tampón causado por los minerales (K y Mg).

Altos niveles de sólidos solubles en las muestras de tomate analizadas están altamente correlacionadas con concentraciones altas de ácido cítrico ($r=0.94$, $p<0.01$). Es bien conocido que los ácidos orgánicos constituyen parte de los sólidos solubles y el ácido cítrico es el principal de los ácidos presentes en los frutos de tomate tal como se confirma en este estudio.

La concentración de fructosa en los frutos analizados está fuertemente correlacionada con la de glucosa ($r=0.86$, $p<0.05$). **Islam y Khan (2001)** y **Ruíz y col. (2004)** han encontrado igualmente un coeficiente de correlación alto entre la fructosa y la glucosa. Existe una elevada correlación entre los valores de a^* con C^* ($r=0.92$, $p<0.01$) y con licopeno ($r=0.91$, $p<0.05$).

4.1.1.3 Características microscópicas

Las muestras de tomate de las tres variedades procedentes de los dos tipos de cultivo fueron analizadas microscópicamente.

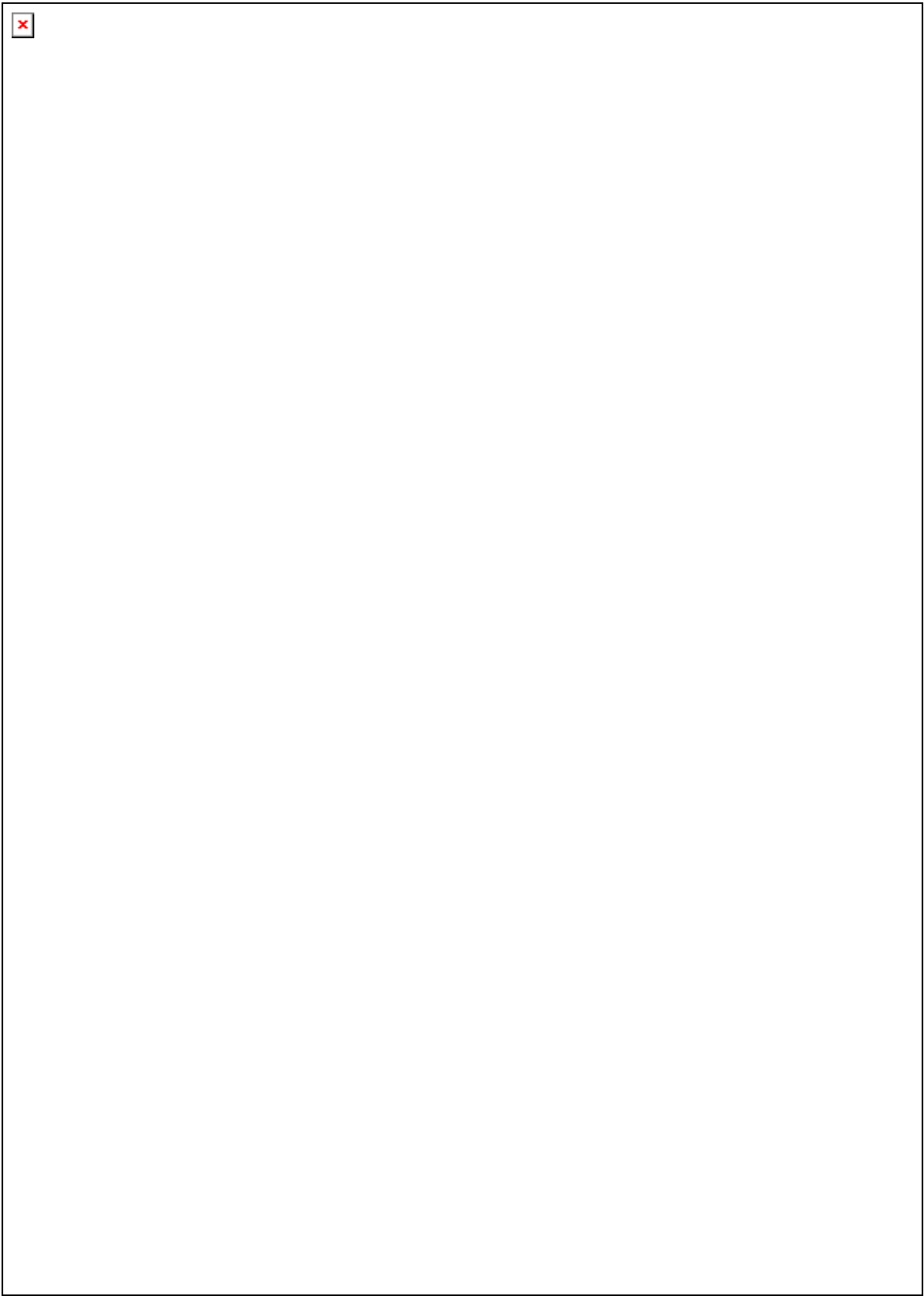
En las células de la epidermis del tomate se observan a nivel microscópico paredes celulares gruesas y de coloración amarillo-verdoso, con núcleos de color azul en los tejidos de la piel (**Figuras 58, 59 y 60**). Estas células tienen forma redondeada, de pequeño tamaño y con mayor uniformidad que las células de la pulpa. No se apreciaron diferencias debido a la variedad y al tipo de cultivo. Igualmente, **Flint (1996)** registra células de paredes gruesas en este tipo de tejido en frutos de tomate.

En cuanto a las células de la pulpa, la coloración en la mayoría de las células es azul (correspondiente a la lignina), mientras que en otras aparece una coloración violeta (debida a las pectinas). Cabe destacar la presencia de licopeno en las células de la pulpa, observándose mayor contenido del mismo en la variedad Red Spring seguida por las variedades Lladó y Antillas (**Figuras 61, 62 y 63**). Estos resultados coinciden con lo indicado anteriormente en los apartados 4.1.1.1 y 4.1.1.2. **Tangwongchai y col. (2000)** han observado la histología de la pulpa del tomate y registran estructuras similares que contienen licopeno.

Tal y como lo indica **Flint (1996)**, todas las células de la pulpa poseen paredes muy finas de celulosa que son transparentes y que han sido descritas como balones de celofán. Igualmente se observa en las **Figuras 64, 65 y 66**, que las células poseen poco espacio intracelular, con una distribución uniforme y libre de aire, esto da un indicio de frutos con un adecuado nivel de firmeza.

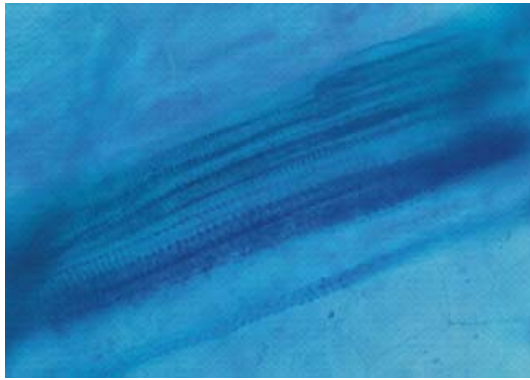
Respecto al núcleo de las células de la pulpa de tomate en todos los casos se aprecia un núcleo coloreado de azul celeste y el nucleolo de un azul más intenso (**Figuras 67, 68 y 69**). También es importante la cantidad de licopeno que se aprecia en las proximidades del núcleo. El tejido fibrovascular de los tomates evaluados está formado por dos tipos de vasos conductores, unos con forma anular y otros en forma de espiral, tal y como se observa en la (**Figuras 70, 71 y 72**). En la **Figuras 73 a 75** se observa la piel de la semilla en la que existen unas estructuras en forma de pelos y la base de los mismos. Son células alargadas que pueden alcanzar 500 μm de longitud. Fragmentos de estos pelos se encuentran frecuentemente en los productos de tomate y se pueden distinguir por su naturaleza puntiaguda y por su birrefringencia.

Tanto en el núcleo, como el tejido fibrovascular y en las estructuras del tejido de la semilla en los frutos de tomates analizados no se identificaron diferencias debido a la variedad y al cultivo.

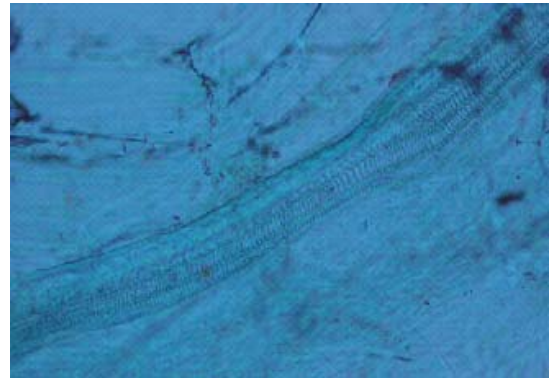






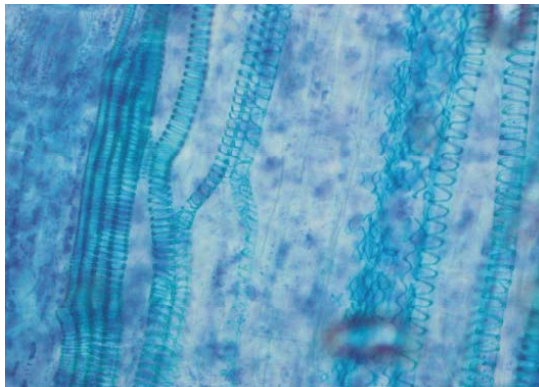


(a)

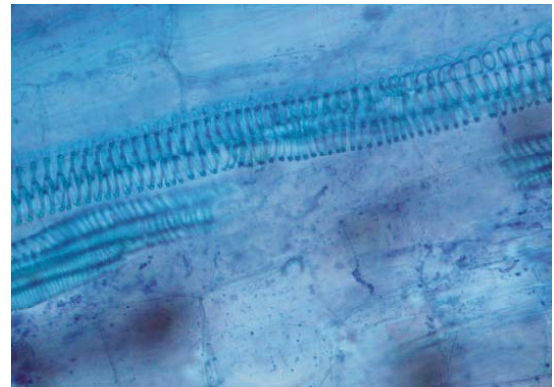


(b)

Figura 67. Tejido fibrovascular de la variedad Lladó , 20x, luz polarizada: (a) convencional, lugol; (b) ecológico



(a)

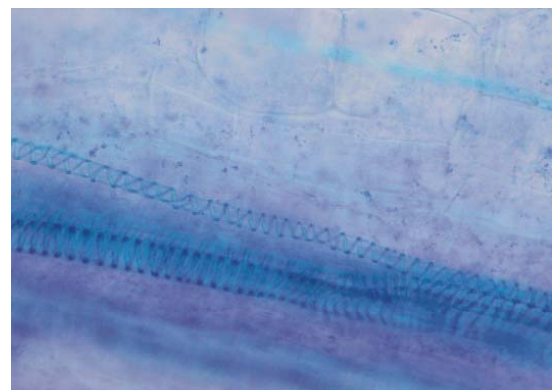


(b)

Figura 68 . Tejido fibrovascular de la variedad Red Spring, azul de toluidina 2, 20x, luz polarizada:(a) convencional; (b) ecológico



(a)



(b)

Figura 69 . Tejido fibrovascular de la variedad Antillas, azul de toluidina 2, 20x, luz polarizada:(a) convencional; (b) ecológico



En función de los resultados obtenidos físico-químico, nutricional y microscópico al analizar las tres variedades de tomate en fresco procedentes del cultivo ecológico y convencional, se puede decir que el factor que influye claramente en las diferencias encontradas entre las muestras analizadas es la variedad.

El sistema de cultivo empleado (ecológico y convencional) influye en un grupo reducido de variables: peso, calibre, sólidos totales, b^* , a^*/b^* , C^* , H° , ácido oxálico, ácido ascórbico, fructosa, glucosa y Mn.

A nivel microscópico, no se observan diferencias entre los tomates analizados salvo en el contenido de licopeno en función de la variedad.

4.1.2. Licopeno con los parámetros de color $CIE_{L^*a^*b^*}$ y con la observación microscópica

Al comprobarse que en las muestras evaluadas en el apartado anterior existía una buena correlación entre el contenido en licopeno y los parámetros de color $CIE_{L^*a^*b^*}$ y, a priori, con la observación microscópica de licopeno se plantea este apartado.

Para ello se analizan siete variedades comerciales de tomate (Canario, Pitenza, Long life, Patrona, Caramba, Cherry y Antillas) con el objetivo de confirmar estas relaciones.

Se realiza inicialmente la medida del color $CIE_{L^*a^*b^*}$ (L^* , a^* , b^* , a^*/b^* , C^* , H° y C^*/L^*) en los frutos enteros de cada una de las siete variedades. A continuación, los frutos se trituran y se determina el **licopeno** por HPLC y se realiza la medida del **porcentaje de área de color rojo** mediante microscopia óptica.

En la **Tabla 20** se recogen los valores medios de las variables físico-químicas evaluadas en este estudio y el análisis de la varianza un factor (variedad). Las respectivas tablas de ANOVA de cada una de las variables analizadas se encuentran en el **ANEXO B**.

Como se puede observar en la **Tabla 20**, existe un efecto significativo de la variedad en todos los parámetros analizados, estos resultados coinciden con los obtenidos en el apartado anterior.

Mediante regresión lineal simple se procede a relacionar la concentración de licopeno con los parámetros de color $CIE_{L^*a^*b^*}$ y el porcentaje de área de color rojo obtenida por microscopia óptica. En la **Tabla 21** se recogen los valores de (R^2) obtenidos en este estudio con su respectiva significación.

Tabla 20. Resultados de las variables físico-químicas evaluadas en siete variedades de tomate comerciales (media \pm desviación estándar) y del ANOVA de un factor

Variedad	Licopeno mg/100 g	%Área de rojo	L*	a*	b*	a*/b*	C°	H°	C*/L*
Canario	2.59 \pm 1.54 ^b	22.39 \pm 0.00 ^c	34.65 \pm 2.33 ^a	19.99 \pm 4.40 ^{de}	32.92 \pm 5.33 ^a	0.60 \pm 0.08 ^d	38.57 \pm 6.57 ^{bc}	58.93 \pm 3.22 ^a	1.13 \pm 0.24 ^d
Pitenza	7.36 \pm 1.20 ^a	39.19 \pm 0.00 ^{ab}	29.92 \pm 1.30 ^{bc}	27.55 \pm 2.25 ^a	35.56 \pm 2.80 ^a	0.77 \pm 0.04 ^a	44.99 \pm 3.43 ^a	52.23 \pm 1.33 ^d	1.50 \pm 0.09 ^a
Long life	2.97 \pm 0.52 ^b	45.80 \pm 8.54 ^{ab}	31.44 \pm 3.29 ^b	24.18 \pm 2.80 ^{bc}	35.84 \pm 5.34 ^a	0.68 \pm 0.09 ^{bc}	43.30 \pm 5.51 ^a	55.79 \pm 3.33 ^{bc}	1.38 \pm 0.09 ^b
Patrona	3.44 \pm 0.17 ^b	31.67 \pm 5.92 ^{bc}	31.45 \pm 1.16 ^b	26.60 \pm 1.85 ^{ab}	36.10 \pm 3.07 ^a	0.74 \pm 0.04 ^{ab}	44.85 \pm 3.40 ^a	53.57 \pm 1.44 ^{cd}	1.42 \pm 0.09 ^{ab}
Caramba	3.99 \pm 1.13 ^{ab}	34.84 \pm 5.64 ^{abc}	31.72 \pm 2.37 ^b	18.44 \pm 3.44 ^e	27.85 \pm 2.41 ^b	0.66 \pm 0.11 ^{cd}	33.50 \pm 3.32 ^d	57.68 \pm 4.35 ^{ab}	1.07 \pm 0.16 ^d
Cherry	6.99 \pm 2.97 ^a	48.63 \pm 6.72 ^a	28.14 \pm 1.78 ^c	23.53 \pm 3.60 ^c	34.75 \pm 3.69 ^a	0.68 \pm 0.10 ^{bc}	42.06 \pm 4.26 ^{ab}	55.94 \pm 3.98 ^{bc}	1.50 \pm 0.12 ^a
Antillas	4.16 \pm 0.12 ^{ab}	45.72 \pm 3.17 ^{ab}	29.57 \pm 2.10 ^c	21.88 \pm 2.17 ^{cd}	28.96 \pm 3.20 ^b	0.76 \pm 0.05 ^a	36.31 \pm 3.65 ^{cd}	52.87 \pm 2.00 ^d	1.23 \pm 0.12 ^c
ANOVA (Variedad)	***	***	***	***	**	*	***	*	***

NS= No significativo (*) significativo $p < 0.05$, (**) significativo $p < 0.01$, (***) significativo $p < 0.001$, diferentes letras indican diferencias significativas aplicando Tukey.

Tabla 21. Coeficientes de regresión (R^2) entre el contenido de licopeno y las variables físico-químicas evaluadas en frutos de tomate entero

Variedad	Licopeno							
	% Área de rojo	L*	a*	b*	a*/b*	C*	H°	C*/L*
Canario	0.903*	0.922*	0.877	0.733	0.911*	0.797	0.911*	0.915*
Pitenza	0.062	0.583	0.776	0.630	0.437	0.704	0.424	0.427
Long life	0.144	0.387	0.100	0.303	0.180	0.302	0.180	0.039
Patrona	0.430	0.052	0.998**	0.900*	0.036	0.960*	0.044	0.764
Caramba	0.227	0.941*	0.952*	0.107	0.910	0.931*	0.776	0.986*
Cherry	0.552	0.004	0.931*	0.603	0.980**	0.720	0.976*	0.995**
Antillas	0.295	0.374	0.284	0.222	0.133	0.220	0.100	0.074
Global	0.178*	0.388**	0.322**	0.045	0.356**	0.138	0.355*	0.154*

** La correlación es significativa al nivel 0.01, * La correlación es significativa al nivel 0.05.

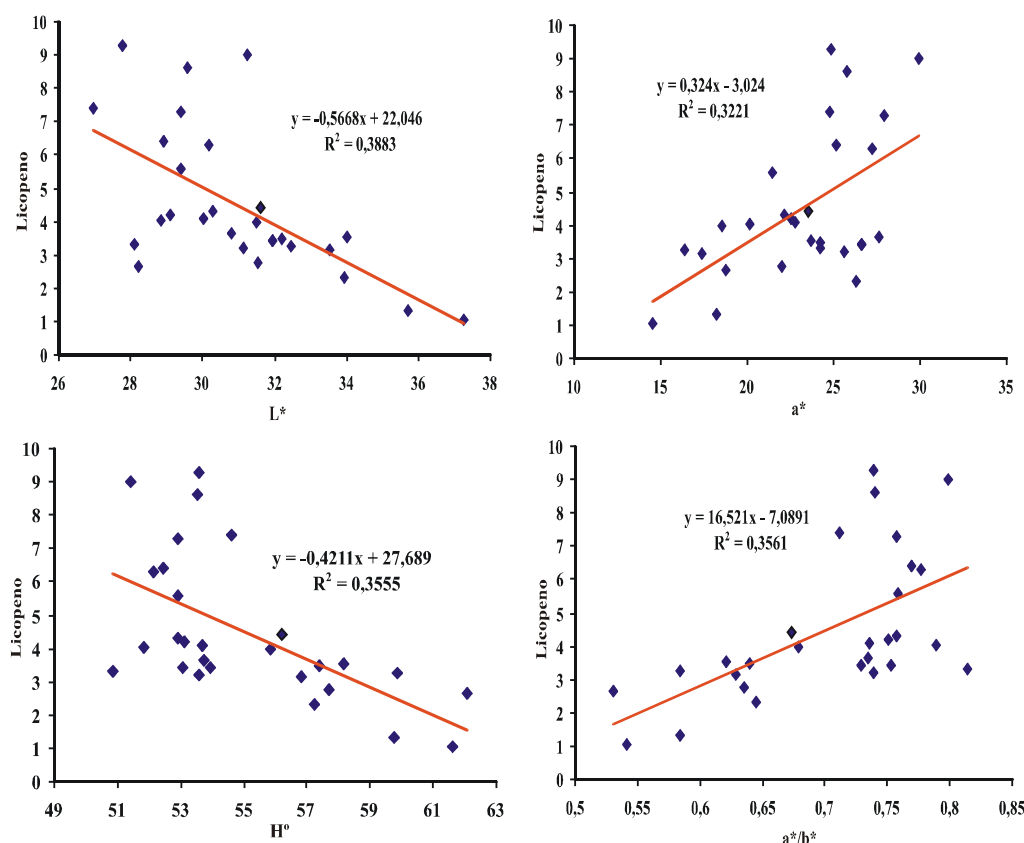


Figura 73. Regresiones lineales entre la concentración de licopeno (mg/100 g de materia fresca) y los parámetros de color CIE_{L*a*b*} L*, a*, a*/b* y H°

Al relacionar los valores medios de las variables colorimétricas medidas directamente en el tomate entero. En el conjunto de las siete variedades evaluadas con los valores medio de licopeno se evidencia que el ajuste no fue adecuado en ninguno de los casos (**Tabla 21** y **Figura 73**) ya que todos los coeficientes obtenidos son menores a 0.5.

Barret y Anthon (2001) evaluaron la relación entre el licopeno y los parámetros de color CIE_{L*a*b*} a*, a*/b* y C*/L* en 12 variedades de tomate entero, en los dos primeros atributos de color obtienen al igual que en este estudio ajustes muy bajos, pero en C*/L* registran un valor de $R^2=0.614$ superando al valor obtenido en este estudio (**Tabla 21**).

Igualmente, **Hyman y col. (2004)** al relacionar las coordenadas colorimétricas L*, a*, b*, a*/b*, C* y H° con la concentración de licopeno en 24 variedades de tomate presentan valores de regresión muy bajos, salvo en el parámetro de color H° ($R^2=0.654$, $p<0.05$).

Al analizar la regresión entre el nivel de licopeno con las variables antes citadas en forma independiente por variedad se aprecia que las muestras de la variedad Canario, Patrona, Caramba y Cherry describen coeficientes de regresión significativamente altos con alguna de las variables (**Tabla 21**). Así, el nivel de licopeno en la variedad Canario

presenta con la relación a^*/b^* ($R^2 = 0.911$, $p < 0.05$), con el H° ($R^2 = 0.911$, $p < 0.05$) y con la relación C^*/L^* ($R^2 = 0.915$, $p < 0.05$) (**Tabla 21**).

En la variedad Patrona el coeficiente de regresión entre el licopeno con a^* es ($R^2 = 0.998$, $p < 0.01$), con b^* ($R^2 = 0.900$, $p < 0.05$) y con C^* ($R^2 = 0.960$, $p < 0.05$) (**Tabla 21**).

La concentración de licopeno en la variedad Caramba presenta igualmente coeficientes de regresión elevados con L^* ($R^2 = 0.941$, $p < 0.05$), a^* ($R^2 = 0.952$, $p < 0.05$), C^* ($R^2 = 0.931$, $p < 0.05$) y C^*/L^* ($R^2 = 0.986$, $p < 0.05$) (**Tabla 21**).

En la variedad Cherry los coeficientes de regresión elevados con el contenido de licopeno se observan con a^* ($R^2 = 0.931$, $p < 0.05$), a^*/b^* ($R^2 = 0.980$, $p < 0.01$), H° ($R^2 = 0.976$, $p < 0.05$) y C^*/L^* ($R^2 = 0.995$, $p < 0.01$) (**Tabla 21**).

D'Souza y col. (1992) al correlacionar el contenido de licopeno en tres variedades de tomate entero en forma independiente con las variables L^* , a^* , a^*/b^* igualmente obtienen buenas relaciones, por el contrario, estos autores registran relaciones muy bajas con b^* , C^* y H° . **Arias y col. (2000)** al estudiar la relación entre el licopeno con las variables colorimétricas en una variedad de tomate entero obtienen resultados similares a los descritos por **D'Souza y col. (1992)**.

En cuanto a las relaciones entre el contenido en licopeno y el porcentaje de área de rojo obtenido mediante microscopia óptica, se observa que tampoco resultan muy adecuados los coeficientes de regresión obtenidos (**Tabla 21**), salvo para la variedad Canaria.

En función de los resultados obtenidos en las muestras analizadas no se puede prescindir de la determinación instrumental del licopeno. Técnicas más sencillas como la determinación del color $CIE_{L^*a^*b^*}$ o la microscopia óptica no pueden ser utilizadas indistintamente para estimar la concentración de este compuesto en todos los frutos de tomate, ya que únicamente los resultados son satisfactorios para cuatro de las variedades estudiadas (Canario, Caramba, Patrona y Cherry).

4.2. TOMATE TRITURADO

4.2.1. Puesta a punto del proceso de elaboración del tomate triturado

Con el propósito de definir las operaciones y las variables más significativas en el proceso de elaboración del tomate triturado se han realizado un grupo de experimentos.

El primero de ellos se centra en evaluar el efecto de cinco factores (**Tabla 22**), sobre las características físico-químicas y visuales del producto obtenido (**Figura 74**). Las variables analizadas en las muestras son: rendimiento, sólidos solubles, acidez total, materia seca, pH, Aw, porcentaje de piel, homogeneidad, burbujas, presencia de semillas, presencia de piel y gránulos.

Tabla 22. Factores analizados en el experimento factorial incompleto 2^{5-1}

Factores		Niveles	
A	Velocidad de giro de la trituradora	-1	1.500 rpm
		1	3.000 rpm
B	Tiempo de trituración	-1	1.5 minutos
		1	3.0 minutos
C	Pelado manual	-1	No
		1	Sí
D	Escaldado con vapor durante 90 segundos	-1	No
		1	Sí
E	Tamizado (2 mm)	-1	No
		1	Sí



Figura 74. Muestra de tomate triturado

Las variables de respuesta han sido tratadas en un experimento factorial incompleto 2^{5-1} . Para cada uno de los 12 tratamientos se ha utilizado 1 kg de tomate para obtener las respectivas muestras. Las diferencias debido a los factores han sido evaluadas por el estudio de la magnitud de los efectos y una prueba gráfica de ajuste a la normal, método diseñado por Daniel (**Box y col., 2005**).

Las variables pH, Aw, sólidos solubles, acidez total, homogeneidad y burbujas no presentan diferencias debido a los cinco factores evaluados y las respectivas interacciones. En la **Figura 75**, a modo de ejemplo, se representan las variables de pH, Aw y acidez total.

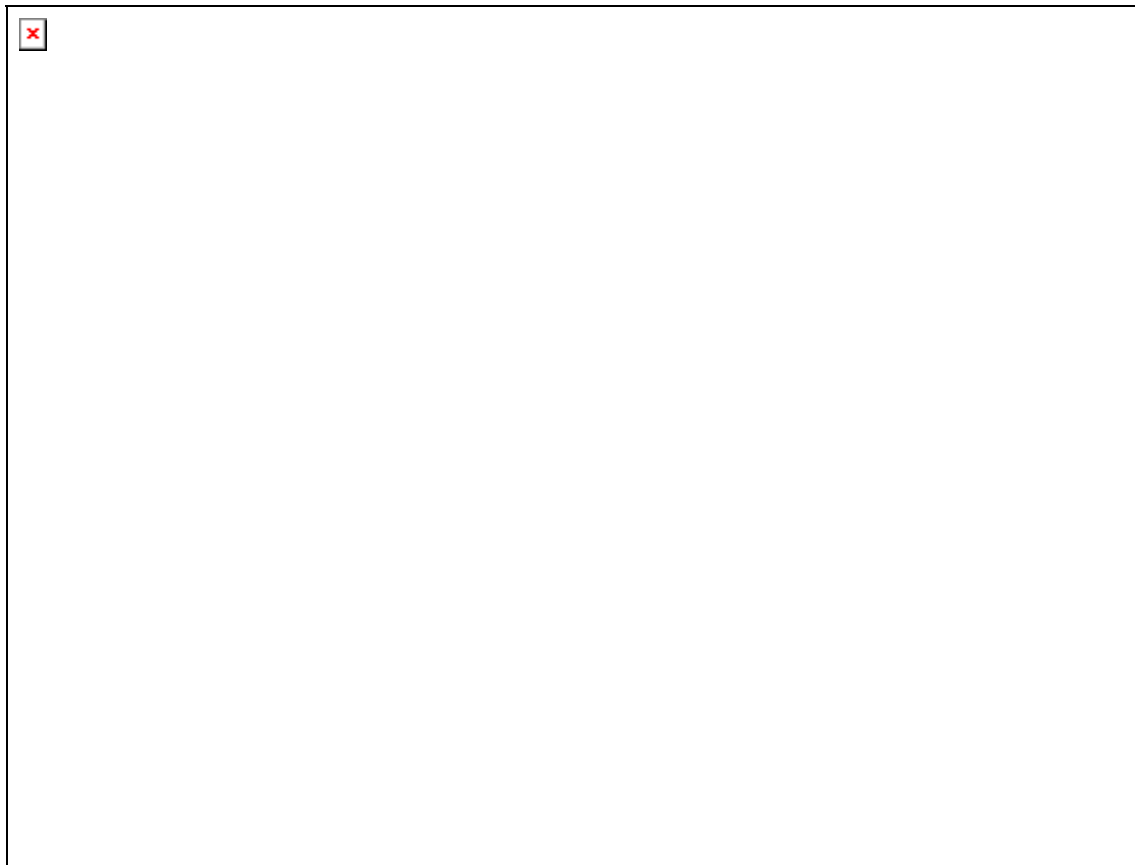


Figura 75. Variables (pH, Aw y acidez total) no afectadas por los factores considerados

En la **Tabla 23** se muestran las respuestas obtenidas en el caso de las variables para las que se han obtenido efectos importantes o significativos. Se indican en negrita los efectos e interacciones para los que la prueba de significación aproximada de ajuste a la normal presenta efecto significativo. Aparecen subrayadas los valores importantes, pero que no se separan apreciablemente de la distribución normal. Las flechas indican si al pasar del nivel -1 al +1 aumenta (\uparrow) o disminuye (\downarrow) el valor de la variable analizada.

Tabla 23. Variables físico-químicas y visuales afectadas por los factores considerados

Efecto	% piel	Materia Seca	Rendimiento	Pieles	Gránulos	Semillas	Color
A + BCDE	0,5	0,21	0	-0,13	-1,50 ↓	-1,75 ↓	-1,13 ↓↓
B + ACDE	-1,50	-0,11	2,25	-0,63	-0,25	0	-0,38
C + ABDE	14,75 ↑↑	0,1	-10,75 ↓↓	-3,13 ↓	0	0	-0,88 ↓
D + ABCE	-3,75	0,21	<u>4,75</u> ↑	-0,63	0,25	0,25	0,38
E + ABCD	-0,25	-0,30 ↓↓	-7,00 ↓	-0,13	-1,75 ↓↓	-1,75 ↓	-0,13
AB + CDE	-1,25	-0,17 ↓	-1	-0,13	-0,5	-0,5	0,13
AC + BDE	0,5	0,05	-1	-0,13	0,25	0	0,13
AD + BCE	0,5	0,1	-0,5	-0,13	0	-0,25	-0,13
AE + BCD	0	0,23	3,25	0,88	1	1,25	-0,13
BC + ADE	-1,5	0,19	1,25	0,88	-0,5	0,25	0,38
BD + ACE	0	0,16	-1,25	-1,13	-0,25	0	-0,88
BE + ACD	0,5	-0,01	1	0,38	0,25	0,50	0,13
CD + ABE	-3,75	0,06	0,75	0,38	0	0	0,13
CE + ABD	-0,25	0,21	2	0,38	0,50	0	-0,38
DE + ABC	-1,25	0,12	2,50	-0,13	-0,25	-0,25	0,38

A: potencia triturado; B: tiempo triturado; C: pelado; D: escaldado; E: tamizado

Se puede observar en la **Tabla 23**, que al incrementar la potencia de triturado se reducen los gránulos, las semillas y el color. Si se realiza la operación de pelado disminuye el rendimiento y el color. El escaldado tiene un efecto positivo sobre el rendimiento, pero al no separarse de la normal, probablemente no sea significativo. El tamizado disminuye la materia seca, el rendimiento, los gránulos y las semillas en las muestras analizadas (**Tabla 23**).

Si se tiene en cuenta el rendimiento y el color no interesa pelar ni tamizar los tomates. Desde un punto tecnológico, estas operaciones tampoco interesan ya que encarecen el proceso. Interesaría tamizar para reducir los gránulos y las semillas, pero se podría compensar con una potencia de trituración alta, que tiene un efecto reductor sobre estas variables.

Es de destacar igualmente que el tiempo de triturado no influye en las variables analizadas en este estudio (**Tabla 23**). En función de estos resultados se decide escaldar los tomates, no retirar la piel, triturar a 3000 rpm durante dos minutos y no tamizar.

El segundo experimento se orienta para establecer la temperatura de escaldado. En el ensayo anterior esta operación se realiza utilizando vapor directo sobre los tomates durante 90 segundos, observándose que dicha operación permitía retirar con facilidad la piel, aún cuando no se logra alcanzar temperaturas en el centro del tomate por encima de los 60 °C. **Thakur y col. (1996)** indican que tratamientos de calor por encima de los 65 °C

permiten reducir la actividad de las enzimas involucradas en la hidrólisis de las sustancias pécticas. Para cumplir esta premisa se realiza un ensayo a fin de establecer la relación tiempo/temperatura adecuada para disminuir la actividad de la enzima pectolítica más resistente al calor presente en los tomates, la pectinmetilesterasa (PME) (**Larrata y col., 1995**).

Para cumplir este propósito se toman muestras por duplicado de 1 kg de tomate, se cortan en cubos de aproximadamente 1 cm y se someten a la acción de dos temperaturas, 70 y 80 °C, durante 30, 60 y 90 segundos en el equipo de escaldado (**Figura 76**). La actividad residual de la enzima se calcula a partir de la prueba de actividad enzimática descrita por **Begum y Brewer (2001)**.

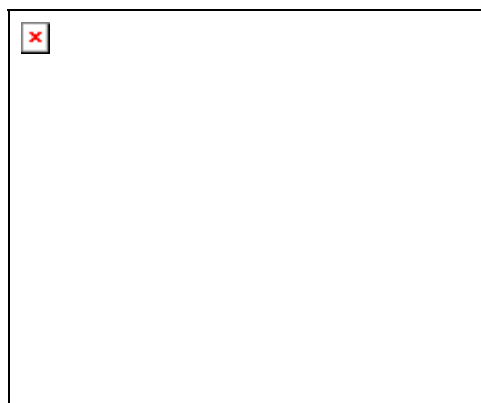


Figura 76. Cubos de tomate durante la operación de escaldado

Como se puede observar en la **Figura 77**, la temperatura de 80 °C logra el mayor nivel de reducción de la actividad enzimática frente a la temperatura de 70 °C. La exposición de los cubos de tomate a 80 °C durante 60 y 90 segundos obtienen resultados similares en cuanto a la reducción de la actividad enzimática (**Figura 77**). La combinación tiempo temperatura elegida corresponde a 80 °C durante 60 segundos ya que supone un ahorro en el consumo de vapor durante esta operación.

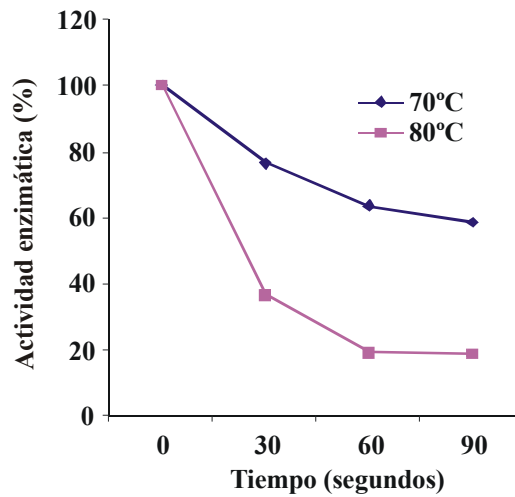


Figura 77. Inactivación de la enzima PME en tomate a 70 y 80 °C

El tercer experimento se orienta para establecer el tiempo de esterilización adecuado para garantizar la esterilidad comercial del tomate triturado. Muestras de esta conserva elaboradas en las condiciones establecidas previamente se envasan en frascos de 370 mL y se someten a la acción del calor con el propósito de establecer los valores, experimentales de f_h y j_h mediante el perfil de la temperatura del autoclave y del punto más frío del tomate triturado. Para ello se instala un termopar a un tercio de la altura del envase, altura teórica recomendada para alimentos en los que el calor se transfiere por convección. Al linealizar la curva de penetración de calor mediante la formula de Ball, descrita por Noronha y col. (1995), se obtienen los valores experimentales de f_h y j_h (Figura 78).

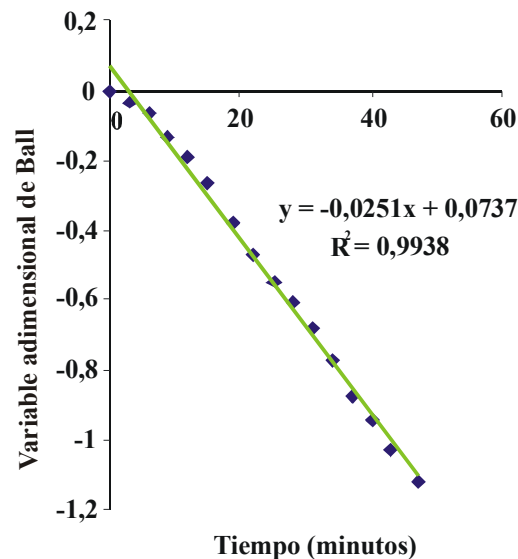


Figura 78. Linealización de curva de calentamiento

Estos valores para esta conserva corresponden a $f_h = 39.84$ y $j_h = 1.185$. Una vez conocidos los valores, el siguiente paso es calcular el tiempo de procesamiento térmico, para ello se utiliza la fórmula descrita por **Taiwo y col. (1997)** y el valor de letalidad equivalente de $F_0 = 0.11$ minutos a 120°C con $z = 10^\circ\text{C}$ registrado por **Anese y col. (2002)**.

En la **Tabla 24** se resume el procedimiento necesario para estimar el tiempo de procesamiento térmico (B) en el tomate triturado. Como se puede observar, el tiempo necesario para estabilizar el producto es de 24.48 minutos. Para garantizar la estabilidad de las conservas de tomate triturado durante el periodo de almacenamiento se decidió dar un margen de seguridad llevando el tiempo de procesamiento térmico hasta los 30 minutos.

Tabla 24. Estimación del tiempo de procesamiento térmico en tomate triturado

Variable	Valor
F_0	0.11
z	10°C
f_h	39.84
j_h	1.185
T° inicial del tomate triturado	55°C
T° de esterilización	120°C
$L = 10^{-(121,1-T)/z}$ Mafart (1994)	0.977
$f_h/U = (f_h * L / F_0)$ Mafart (1994)	353.937
$g(f_h/U, j_h)$ por tablas Mafart (1994)	18.239
B (minutos)	24.48

L = velocidad letal, U = tiempo equivalente a F_0 , g = diferencia de temperatura entre el alimento y el medio de calentamiento al desconectar el vapor.

Después de establecer las variables críticas de las operaciones de escaldado, triturado y esterilización, a continuación se describe el proceso de elaboración de las conservas analizadas en este estudio.

4.2.2. Elaboración del tomate triturado

Los tomates tanto ecológicos como convencionales son sometidos a este proceso de elaboración. Sólo difiere el proceso ecológico del convencional en la operación de mezclado donde se incorporan diferentes ingredientes según el tipo de elaboración.

El proceso se inicia pesando los tomates que se van a procesar, se seleccionan manualmente los frutos, separando de la línea de procesado aquellos que presenten daños físicos. Posteriormente, se lavan para reducir la carga de residuos que puedan traer del campo mediante inmersión del fruto en agua durante unos 10 minutos en el equipo de lavado (**Figura 16**). Finalizada esta operación se dejan escurrir durante 5 minutos.

Una vez escurridos los tomates se cortan en cubos de 1 cm con el equipo corta hortalizas (**Figura 17**) y se someten al tratamiento de escaldado a 80 °C durante un minuto en el escaldador (**Figura 18**).

A continuación, los trozos de fruta se trituran a 3000 rpm durante dos minutos y se procede a incorporar los ingredientes según el tipo de elaboración. En el procedimiento ecológico se acidifica con de zumo de limón. En la elaboración convencional los productos se acidifican con ácido cítrico al 0.1%. En los dos procedimientos se adiciona un 0.3% de NaCl.

Una vez mezclados los ingredientes, el producto es envasado en recipientes de vidrio de 370 mL a una temperatura de 80 °C, garantizando un espacio de cabeza de por lo menos un 5% de la altura del envase. Posteriormente, se someten al tratamiento de esterilización a 120 °C durante 30 minutos utilizando vapor a 2 bar de presión. Finalmente, se enfrían las conservas mediante duchas de agua instaladas en el autoclave hasta temperatura ambiente. Estas conservas se almacenan a temperatura ambiente (20 ± 1.8 °C) durante seis meses y se evalúan a lo largo de este tiempo (0, 60, 120 y 180 días). La **Figura 79** resume las operaciones del proceso de elaboración.

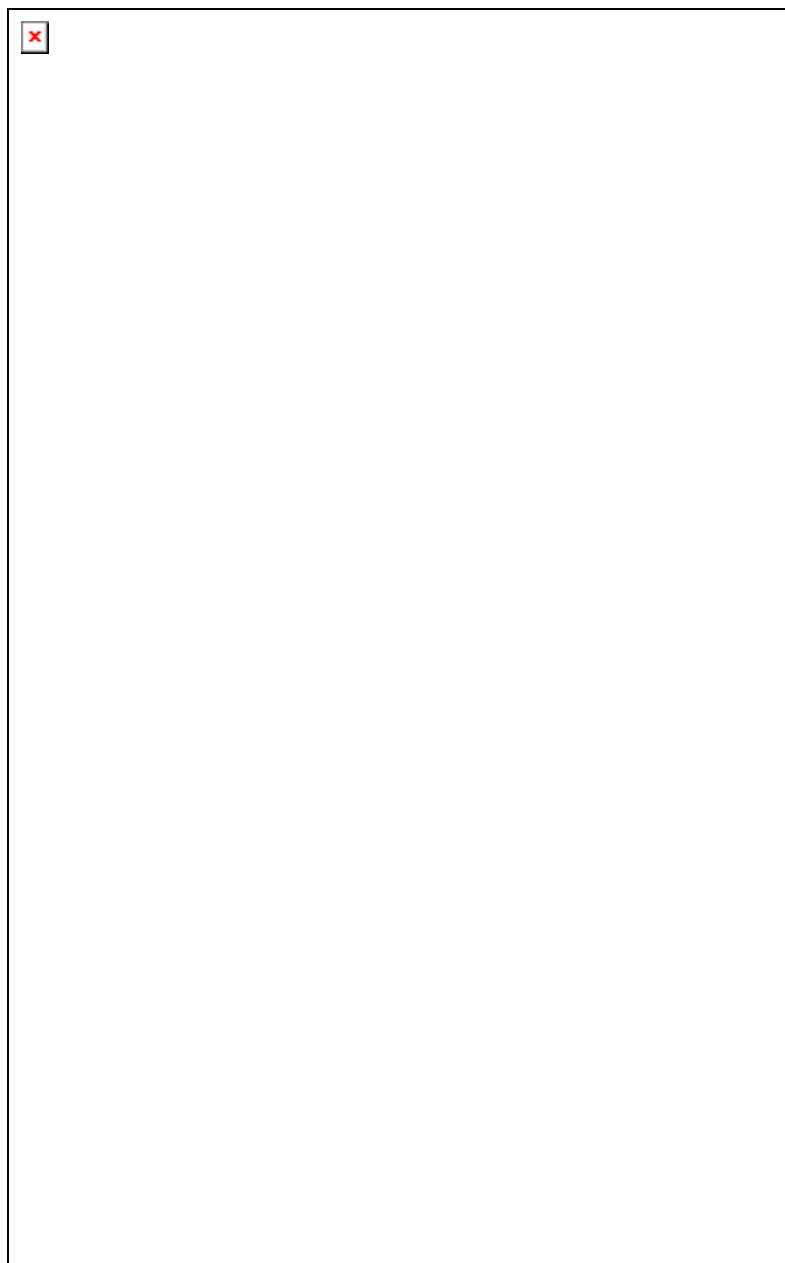


Figura 79. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de tomate triturado

Igualmente, se ha realizado un balance de materia en las diferentes operaciones involucradas en el proceso de elaboración del tomate triturado, este balance indica que si se desea elaborar 100 kg de tomate triturado es necesario procesar 128.53 kg de tomate, además la operación con mayores mermas en este proceso es la operación de cortado con un 14.35% (**Tabla 25**).

Tabla 25. Balance de materia del proceso de elaboración del tomate triturado

Operación	Materia prima entrada (kg)	Materia prima salida (kg)	Mermas (kg)	Rendimiento (%)
Pesar	4.86	4.86	---	100
Seleccionar	4.86	4.60	0.26	94.65
Lavar	4.60	4.60	---	100
Ecurrir	4.60	4.60	---	100
Cortar	4.60	3.94	0.66	85.65
Escaldar	3.94	3.84	0.10	97.46
Triturar	3.84	3.81	0.03	99.22
Mezclar	3.81	3.82	---	100.3
Envasar	3.82	3.78	0.04	98.88
Esterilizar	3.78	3.78	---	100
Enfriar	3.78	3.78	---	100
Rendimiento global				77.80

Con el producto recién elaborado y durante el almacenamiento igualmente se realizaron análisis microbiológicos de las conservas siguiendo los procedimientos establecidos por **Krebbbers y col. (2003)**. Los valores obtenidos confirman la esterilidad comercial de los productos después de la operación de esterilización y el periodo de almacenamiento (**Tabla 26**).

Tabla 26. Resultados microbiológicos en tomate triturado

Periodo de almacenamiento (días)	Flora natural (ufc/g)	Flora de microorganismos esporulados (ufc/g)
0	ND	ND
30	1×10^{-2}	ND
120	1×10^{-2}	ND
180	1×10^{-2}	ND

ND= No detectado

4.2.3. Influencia de la materia prima, del tipo de elaboración y el tiempo del almacenamiento en las características físico-químicas y nutricionales del tomate triturado

Se procede al análisis de los tres productos de tomate triturado siguientes elaborados en la planta piloto a partir de frutos de tomate de la variedad Red Spring.

EE: elaborado con materia prima ecológica siguiendo un procedimiento ecológico.

CC: elaborado con materia prima convencional siguiendo un procedimiento convencional.

CE: elaborado con materia prima convencional siguiendo un procedimiento ecológico.

El propósito es conocer la influencia de la materia prima y del tipo de elaboración en las características físico-químicas y nutricionales de las conservas de tomate triturado. Asimismo, los productos se almacenaron a temperatura ambiente durante 180 días, realizando 4 muestreos con una periodicidad de 60 días, a fin de evaluar el efecto del tiempo de almacenamiento.

4.2.3.1. Características físico-químicas

En este apartado se han realizado las determinaciones de **sólidos totales, sólidos solubles, pH, acidez total, Aw, cenizas, fructosa, glucosa, L*, a*, b*, a*/b*, C*, H°, HMF, consistencia, PPH, MIA y TSP**. En las **Tablas 27 y 28** se recogen los valores medios tanto del tomate en fresco, como tras la elaboración de los triturados de tomate (muestreo cero) y a lo largo de los 180 días de almacenamiento de los mismos

Influencia de la materia prima

Tal y como se observa en la **Tabla 29**, al aplicar el t-Student entre la materia prima de partida (ecológica-convencional), únicamente se encuentran diferencias significativas en las variables **sólidos totales, pH, acidez total y glucosa**.

Tabla 27. Resultados de los parámetros físico-químicos evaluados en tomate fresco y tomate triturado almacenado durante 180 días y del ANOVA de un factor (tiempo de almacenamiento)

Producto	Tiempo de almacenamiento (días)	Sólidos totales (g/100 g)	Sólidos solubles (°Brix)	pH	Acidez total (g/100 g)	Aw	L*	a*	b*
Tomate fresco ecológico		6.76±0.00	4.16±0.53	4.58±0.00	0.30±0.00	0.998±0.00	37.09±2.48	31.39±0.30	35.21±6.84
EE	0	6.63±0.06	5.36±0.00	4.57±0.01	0.32±0.00	0.997±0.00	7.52±0.34	21.23±0.22	11.92±0.41
	60	6.53±0.07	5.36±0.00	4.52±0.01	0.32±0.00	0.994±0.00	6.87±0.42	20.31±0.16	11.23±0.59
	120	6.34±0.12	5.56±0.00	4.51±0.01	0.33±0.01	0.997±0.00	6.89±0.18	20.93±0.19	11.16±0.18
	180	6.42±0.10	5.56±0.00	4.49±0.00	0.33±0.01	0.996±0.00	8.20±0.71	20.78±0.74	12.24±0.49
Tomate fresco convencional		6.16±0.08	3.87±0.20	4.77±0.01	0.23±0.00	0.996±0.00	36.63±2.02	30.28±2.37	44.61±4.10
CC	0	5.82±0.18	4.86±0.08	4.54±0.03	0.32±0.01	0.997±0.00	5.96±0.14	21.07±0.26	10.02±0.19
	60	5.66±0.19	4.91±0.05	4.50±0.02	0.31±0.01	0.995±0.00	5.82±0.12	19.89±0.26	9.66±0.19
	120	5.58±0.12	4.91±0.06	4.50±0.02	0.32±0.02	0.996±0.00	6.22±0.18	20.26±0.42	10.03±0.38
	180	5.60±0.14	4.96±0.00	4.47±0.02	0.32±0.02	0.996±0.00	7.00±1.17	20.20±0.34	10.61±1.17
CE	0	5.79±0.05	4.86±0.11	4.61±0.01	0.29±0.00	0.997±0.00	6.14±0.52	20.84±0.39	10.00±0.60
	60	5.70±0.06	4.96±0.00	4.57±0.00	0.30±0.00	0.993±0.00	5.60±0.11	19.36±0.23	9.27±0.16
	120	5.62±0.06	4.96±0.00	4.55±0.02	0.30±0.00	0.996±0.00	6.03±0.24	20.38±0.37	9.72±0.31
	180	5.66±0.09	4.96±0.00	4.56±0.02	0.31±0.02	0.996±0.00	6.98±0.48	20.79±0.14	10.60±0.45
ANOVA de un factor (almacenamiento)		NS	NS	***	NS	***	***	***	**

NS= No significativo, (*) significativo p<0.05, (**) significativo p<0.01, (***) significativo p<0.001.

Tabla 27. (Continuación) Resultados de los parámetros físico-químicos evaluados en tomate fresco y tomate triturado almacenado durante 180 días y del ANOVA de un factor (tiempo de almacenamiento)

Producto	Tiempo de almacenamiento (días)	a*/b*	C*	H°	HMF (mg/kg)	Consistencia (cm)	PPH (%)	MIA (g/100 g ms)	TSP (g/100 g ms)
Tomate fresco ecológico		0.71±0.10	54.95±5.59	54.82±4.01	----	5.25±0.43	----	31.97±8.47	15.20±4.54
EE	0	1.78±0.07	24.35±0.22	29.30±0.96	4.24±1.10	9.16±1.43	24.00±0.55	25.87±1.81	10.78±2.51
	60	1.81±0.10	23.21±0.23	28.93±1.41	4.57±0.17	9.29±0.60	20.04±0.98	26.36±2.23	10.00±1.56
	120	1.87±0.03	23.71±0.22	28.07±0.35	9.76±1.29	9.29±0.48	18.69±1.01	23.83±0.68	9.55±0.15
	180	1.70±0.11	24.14±0.50	30.51±1.78	9.89±0.15	8.83±0.46	17.89±0.60	23.31±0.99	8.64±0.15
Tomate fresco convencional		0.87±0.11	46.51±3.70	49.22±3.66	----	5.20±0.76	----	31.35±1.36	16.73±0.68
CC	0	2.10±0.02	23.34±0.31	25.44±0.28	3.70±1.00	10.50±0.47	21.83±0.76	23.88±1.06	9.67±2.03
	60	2.06±0.04	22.11±0.27	25.90±0.45	4.44±0.78	12.17±0.66	17.35±0.36	21.01±1.55	9.37±2.36
	120	2.02±0.05	22.61±0.52	26.34±0.59	8.77±1.10	11.58±0.41	16.45±0.45	23.03±3.08	7.20±0.58
	180	1.92±0.18	22.83±0.83	27.64±2.28	9.93±0.07	11.20±0.46	14.77±0.52	22.55±0.79	8.40±1.01
CE	0	2.09±0.60	23.12±0.60	25.62±0.60	3.90±0.50	10.70±0.78	19.10±0.53	25.55±1.29	11.58±2.77
	60	2.08±0.03	21.46±0.26	25.57±0.35	4.43±0.06	11.29±0.46	17.18±0.94	22.35±2.40	9.70±2.74
	120	2.09±0.07	22.59±0.39	25.50±0.73	8.63±0.09	11.75±1.25	18.19±0.26	23.38±2.12	8.80±1.67
	180	1.96±0.08	23.34±0.27	27.02±0.95	9.98±0.24	10.76±0.93	15.51±0.38	21.11±0.48	6.93±1.55
ANOVA de un factor (almacenamiento)		*	***	*	***	NS	***	*	**

NS= No significativo, (*) significativo p<0.05, (**) significativo p<0.01, (***) significativo p<0.00

Tabla 28. Contenido de cenizas y azúcares reductores (g/100 g de materia fresca) en tomate fresco y tomate triturado almacenado durante 180 días y del ANOVA de un factor (tiempo de almacenamiento)

Producto	Tiempo de almacenamiento	Cenizas	Fructosa	Glucosa
Tomate fresco ecológico		0.66±0.02	1.18±0.05	0.82±0.11
EE	0	1.03±0.01	1.02±0.05	0.66±0.06
	180	1.05±0.05	0.89±0.00	0.50±0.03
Tomate fresco convencional		0.65±0.04	1.14±0.02	0.65±0.01
CC	0	1.01±0.06	0.92±0.01	0.52±0.05
	180	0.97±0.06	0.82±0.03	0.37±0.04
CE	0	1.04±0.00	0.94±0.00	0.59±0.00
	180	0.99±0.04	0.81±0.06	0.35±0.00
ANOVA de un factor (almacenamiento)		NS	**	**

NS= No significativo, (*) significativo $p<0.05$, (**) significativo $p<0.01$, (***) significativo $p<0.001$.

Al analizar el efecto de dicha materia prima en los tomates triturados recién elaborados (CE y EE) se observa que, además de mantenerse las diferencias debido a la materia prima de partida, existen diferencias significativas a nivel de sólidos solubles, parámetros de color $CIE_{L^*a^*b^*}$ (L^* , b^* , a^*/b^* , C^* y H°) y PPH (**Tabla 29**).

Aún cuando existe un mayor número de variables significativas en el producto elaborado respecto al producto fresco, hay que tener en cuenta que éstas se deben fundamentalmente a parámetros de color $CIE_{L^*a^*b^*}$, diferencias lógicas debido a que la matriz en la que se hace la medida es diferente (superficie de tomate entero y producto triturado fresco). Las otras variables en las que se producen diferencias son el PPH (parámetro no evaluado en el tomate) y los sólidos solubles, variable está última en la que, a pesar de que estadísticamente existen diferencias, a nivel tecnológico son mínimas (0.4 °Brix de diferencia entre las conservas)

En todas las variables citadas, salvo en el pH y en la relación a^*/b^* , los valores son superiores en la materia prima ecológica respecto a la convencional e igualmente también en la conserva EE respecto a la CE (**Tabla 27**).

Influencia del tipo de elaboración

En la **Tabla 29** se observa que únicamente existen diferencias significativas a nivel del pH, de la acidez y del PPH cuando se estudia el efecto del tipo de elaboración.

El hecho de que existan diferencias entre la conserva CE y CC a nivel de **pH** y, por tanto de la **acidez**, es lógico ya que, aunque en la obtención de los triturados se han ajustado los valores de pH indicados por la **Norma de Calidad de las Conservas**

Vegetales (1984), el realizar ese ajuste con ácido cítrico o zumo de limón puede ser la causa de esa pequeña diferencia entre los productos. El producto elaborado siguiendo el proceso ecológico (CE) presenta un valor ligeramente superior (4.61) al producto elaborado siguiendo el proceso convencional (4.54).

Tabla 29. Test t-Student entre variables físico-químicas analizadas en tomate fresco y triturado de tomate recién elaborado

Variable	Materia prima (ecológica- convencional)	Influencia de la materia prima (CE-EE)	Influencia del tipo de elaboración (CE-CC)
Sólidos totales	**	***	NS
Sólidos solubles	NS	***	NS
pH	***	***	*
Acidez total	**	***	*
A _w	NS	NS	NS
Fructosa	NS	NS	NS
Glucosa	*	*	NS
Cenizas	NS	NS	NS
L*	NS	***	NS
a*	NS	NS	NS
b*	NS	***	NS
a*/b*	NS	***	NS
C*	NS	**	NS
H°	NS	***	NS
HMF	---	NS	NS
Consistencia	NS	NS	NS
PPH	---	***	*
MIA	NS	NS	NS
TSP	NS	NS	NS

NS= No significativo, (*) significativo p<0.05, (**) significativo p<0.01, (***) significativo p<0.001.

Influencia del tiempo de almacenamiento

En las **Tablas 27 y 28** se incluye el resultado de ANOVA de un factor (tiempo de almacenamiento) sobre las características físico-químicas evaluadas. Las respectivas tablas del ANOVA de cada una de las variables analizadas se encuentran en el **ANEXO C**.

Se observa que el tiempo de almacenamiento en los productos analizados no influye estadísticamente en cinco de las variables analizadas: **sólidos totales, sólidos solubles, acidez total, consistencia y cenizas (Tabla 27 y 28)**.

Se aprecia una reducción de los **sólidos totales** después del procesado de los tomates en alrededor de un 4.46% (**Tabla 27**). La pérdida de los sólidos totales puede ser debida a la eliminación de compuestos volátiles durante el procesado tal y como afirman **Abushita y col. (2000)**.

Igualmente la **consistencia** se reduce después del procesado de los tomates, esta reducción puede estar relacionada con la extracción de agua de las células y la degradación de las sustancias pécticas durante el tratamiento de esterilización.

Los **sólidos solubles** y la **acidez total** se incrementan después del procesado de los tomates un 27.21% y 23.87%, respectivamente (**Tabla 27**). Este aumento puede ser consecuencia de la solubilización de las pectinas, de la lixiviación de ácidos orgánicos desencadenada por los tratamientos de calor y de la adición de zumo de limón y/o ácido cítrico en las conservas.

La adición de cloruro de sodio, ácido cítrico y/o zumo de limón puede ser la causa del incremento de las **cenizas** en los productos de tomate respecto al valor inicial en los frutos de tomate (**Tabla 28**).

El tiempo de almacenamiento influye en 15 de las variables analizadas: **pH, Aw, L*, a*, b*, a*/b*, C*, H°, HMF, PPH, MIA, total de sustancias pécticas (TSP), fructosa y glucosa (Tabla 27 y 28)**.

En cuanto al **pH**, se observa una reducción de esta variable después del procesado del tomate (**Tabla 27**), esta reducción puede estar explicada por la mayor extracción de los ácidos orgánicos durante el tratamiento de calor y a la adición de zumo de limón y/o ácido cítrico en las conservas.

Esta variable disminuye significativamente a los 60 días de almacenamiento (**Figura 80**). La explicación más probable a este comportamiento del pH puede ser la presencia de HMF en los derivados de tomate (**Anese y col., 2003**).

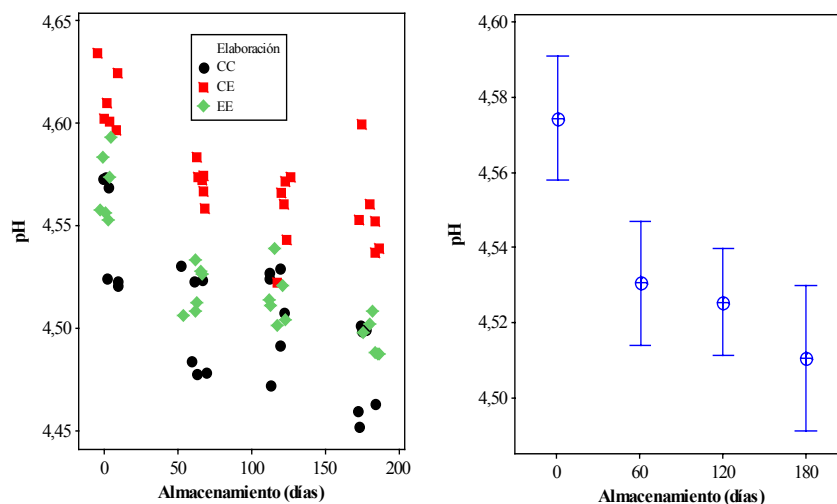


Figura 80. pH de los triturados de tomate a lo largo del tiempo de almacenamiento

La **actividad de agua (Aw)** de las muestras evaluadas se ve afectada estadísticamente sólo a los 60 días de almacenamiento (**Tabla 27**), aunque tecnológicamente esta diferencia no representa efecto alguno en las conservas evaluadas. **Frazier y Westhoff (1993)** indican valores similares para este tipo de producto.

La variables colorimétricas **CIE $L^*a^*b^*$ (L^* , a^* , b^* , C^* y H°)** se reducen después de ser procesados los tomates (**Tabla 27**). Por el contrario la relación a^*/b^* presenta un incremento respecto al valor inicial del fruto fresco (**Tabla 28**). El aumento de la relación a^*/b^* se debe principalmente a la mayor tasa de reducción de b^* frente a a^* .

La reducción de L^* y b^* durante el procesamiento de los tomates y su incremento significativo al final de los 180 días de almacenamiento (**Tabla 27**), puede estar relacionado con el incremento de los compuestos fenólicos en las muestras analizadas al finalizar el periodo de almacenamiento. **Lule y Xia (2005)** indican que la concentración de los flavonoides en los alimentos está relacionada con los colores amarillos, valor de cromaticidad representado por b^* . **Singha y col. (1991)** al evaluar los parámetros de color CIE $L^*a^*b^*$ en manzanas indican la existencia una buena correlación entre la concentración de antocianinas y los valores de L^* y b^* .

En este estudio los compuestos fenólicos también descienden con el procesamiento de los tomates y presentan un aumento durante el almacenamiento de las conservas (**Tabla 31**).

La variables colorimétricas a^* y C^* de los productos evaluados describen un descenso significativo a los 60 días de almacenamiento (**Tabla 27**), que se mantiene constante durante el resto del tiempo de almacenamiento.

Igualmente la relación a^*/b^* desciende con el tiempo de almacenamiento, pero en este caso, la reducción es significativa sólo a los 180 días (**Figura 81**). **Zanotti y col. (2001)** describen una influencia en el tiempo de almacenamiento en la reducción de a^*/b^* en tomate triturado.

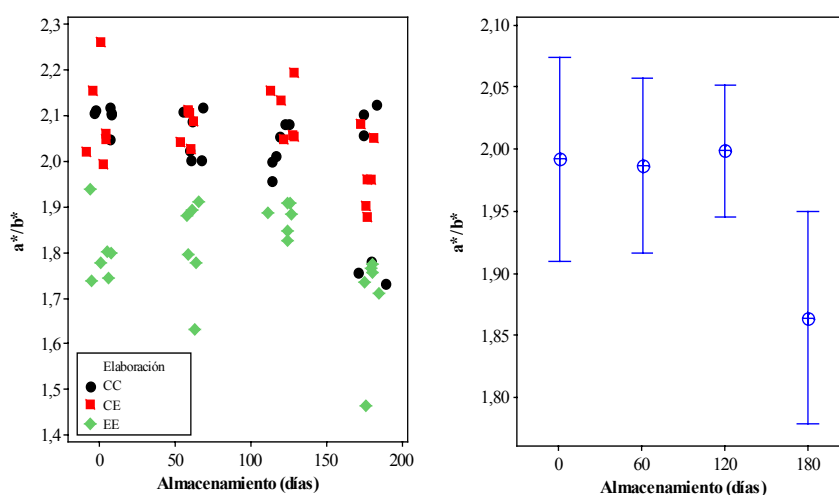


Figura 81. Relación a^*/b^* de los triturados de tomate a lo largo del tiempo de almacenamiento

La variable H° de las muestras evaluadas aumenta con el tiempo de almacenamiento (**Tabla 27**), siendo este aumento significativo sólo a los 180 días. La reducción de las variables colorimétricas durante el procesado y almacenamiento es consecuencia probablemente de la isomeración y oxidación del licopeno (**Rodríguez-Amaya, 1999a; Shi y col., 1999 y Nguyen y Schwartz, 1999**). Además, las reacciones de pardeamiento (Maillard y oxidación del ácido ascórbico) ocurridas durante el procesado térmico, pueden afectar a los parámetros de color (**Barreiro y col., 1997**).

El **HMF** se incrementa significativamente a lo largo del tiempo de almacenamiento en los productos evaluados (**Figura 82**), siendo el incremento más evidente después de los 60 días. El incremento del HMF con el tiempo de almacenamiento ha sido descrito previamente por **Giovanelli y Lavelli (2002)** en diferentes derivados de tomate.

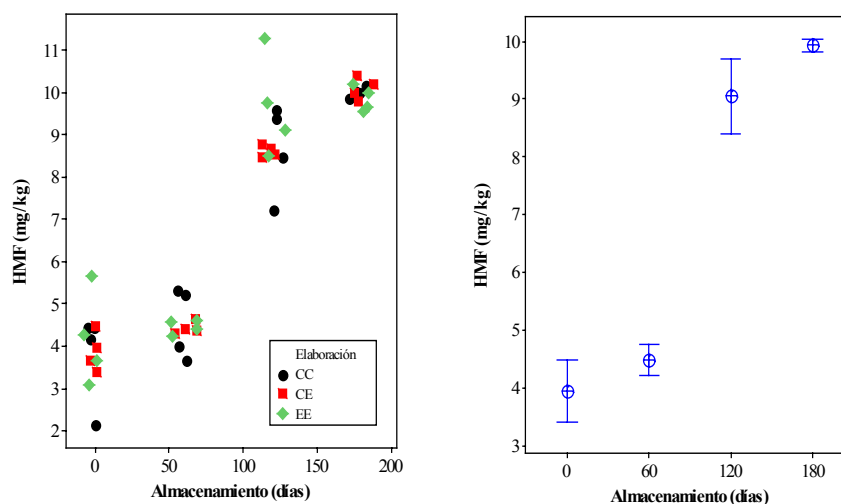


Figura 82. HMF de los triturados de tomate a lo largo del tiempo de almacenamiento

El **porcentaje de pulpa húmeda (PPH)** se reduce significativamente con el tiempo de almacenamiento (**Figura 83**). Después de 180 días, el contenido inicial de PPH en los productos analizados se reduce en un 25.53%. Durante el almacenamiento la capacidad de retener agua por parte de la pulpa se ve afectada por la solubilización de las sustancias pécticas. **Lin y col. (2005)** informan que estos polisacáridos tienen la propiedad de formar gel y retener agua, capacidad física estrechamente relacionada con las propiedades reológicas de los derivados de tomate.

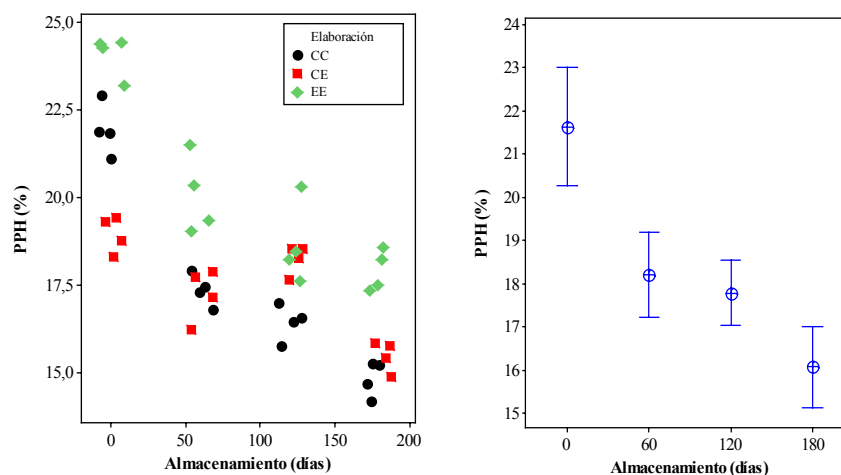


Figura 83. PPH de los triturados de tomate a lo largo del tiempo de almacenamiento

La **materia insoluble en alcohol (MIA)**, se reduce en promedio un 20.47% después de procesar los tomates (**Tabla 27**). El calor desencadena la hidrólisis de los enlaces pectídicos generando fracciones solubles de bajo peso molecular que son arrastrados por la fase etanol-agua en el momento de la cuantificación del MIA (**Cámara y col., 1999, 2002**).

Después de 180 días de almacenamiento se presenta una pérdida significativa, alrededor del 11.06%, en los productos evaluados. Esta reducción es debido principalmente a la solubilización de las sustancias pécticas.

El **total de sustancias pécticas (TSP)**, se reduce en promedio un 34.02% al procesar los tomates (**Tabla 27**). Después de 180 días de almacenamiento esta variable se reduce significativamente en un 25.18% en los productos evaluados (**Figura 84**) Igualmente, **Singh y col. (2002)** indican pérdidas de pectinas durante el almacenamiento de Ketchup.

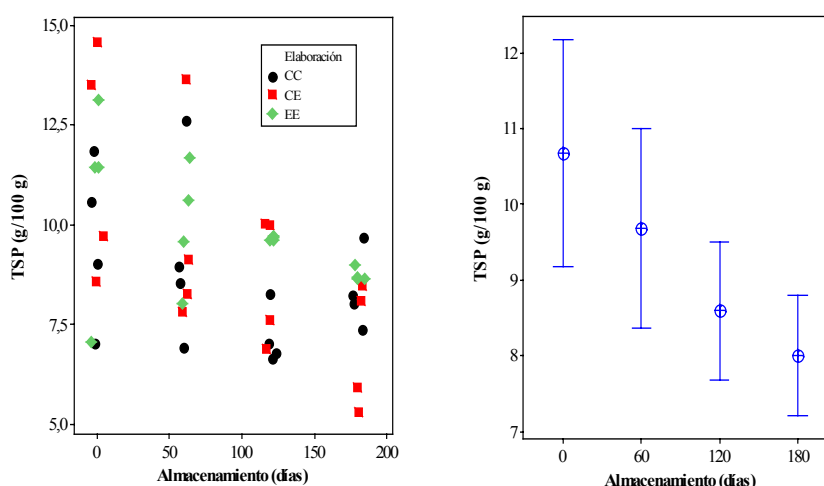


Figura 84. TSP de los triturados de tomate a lo largo del tiempo de almacenamiento

Es de destacar que a pesar de la reducción de las sustancias pécticas, la consistencia no se ve afectada durante los 180 días de almacenamiento. Este comportamiento, probablemente, es consecuencia de la presencia de un alto nivel de sólidos totales en las conservas evaluadas, ya que, en el proceso de elaboración de este producto, los tomates se trituraron a 3000 rpm durante dos minutos con la semilla y la piel y además se obvió la operación de tamizado, incrementando así los niveles de sólidos totales. Autores como **Yoo y Rao (1995)** y **Den Ouden y Vliet (1997)** afirman que altos niveles de partículas en los productos de tomate están relacionados con altos valores de consistencia.

Otro factor que puede haber contribuido a la conservación de la consistencia durante el almacenamiento es la posible interacción entre las pectinas y las proteínas que al reaccionar forman una estructura coloidal, que se ve favorecida a pH entre 4.0 y 4.5 (Takada y Nelson, 1983; Stoforos y Reid, 1992; Takur y col., 1997; Tiziani y Vodovotz, 2004) que son similares a los que presentan las conservas evaluadas en este estudio.

Los dos azúcares reductores evaluados en este estudio, **fructosa y glucosa**, se reducen al ser procesados los frutos de tomate (16.64% y 15.81%, respectivamente) (**Tabla 28**). Después de 180 días de almacenamiento el nivel de estos dos azúcares se reduce significativamente en los productos evaluados (**Tabla 28**), la fructosa en un 12.46% y la glucosa un 31.32%. Esta degradación durante el procesado y el almacenamiento puede haber contribuido a la formación del HMF en los productos evaluados.

4.2.3.2. Propiedades nutricionales

Se han realizado las determinaciones de: **licopeno, β -caroteno, compuestos fenólicos totales, ácidos oxálico, málico, ascórbico, cítrico y fumárico** y los elementos minerales **K, Ca, Na, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu y Se**. En las **Tablas 30 y 31** se recogen los datos de tomate en fresco, tras la elaboración de los triturados (muestreo cero) y a lo largo de los 180 días de almacenamiento de los mismos.

Influencia de la materia prima

Tal y como se observa en la **Tabla 32**, al aplicar el test t-Student entre la materia prima de partida (tomate ecológico y convencional), se observa que existen diferencias significativas entre las variables licopeno, ácidos málico, ascórbico y cítrico y calcio.

Estas diferencias, salvo en el calcio, se mantienen al evaluar las diferencias entre los productos recién elaborados CE y EE, existiendo, además a nivel del hierro.

El producto ecológico presenta valores ligeramente inferiores en el contenido de licopeno y en el de los ácidos orgánicos citados, diferencias que se corroboran en los productos recién elaborados, salvo para el ácido cítrico.

Tabla 30. Resultados de los micronutrientes evaluados en tomate fresco y tomate triturado, expresados en mg/100 g de materia fresca, almacenado durante 180 días y del ANOVA de un factor (tiempo de almacenamiento)

Producto	Tiempo de almacenamiento en días	Licopeno	β-caroteno	Compuestos fenólicos totales	Ácido oxálico	Ácido málico	Ácido ascórbico	Ácido cítrico	Ácido fumárico
Tomate fresco ecológico		9.50±0.23	1.57±0.07	20.16±0.55	10.98±0.48	43.47±0.72	13.70±0.04	229.70±0.00	2.33±0.01
EE	0	11.18±1.27	0.68±0.03	10.08±2.98	38.73±6.88	21.69±1.23	9.78±0.46	417.99±17.97	2.34±0.53
	60	12.13±1.57	1.01±0.13	11.56±3.93	41.55±1.22	19.94±1.42	7.40±1.28	411.58±30.96	2.53±0.04
	120	10.60±0.24	0.95±0.14	14.10±0.92	55.82±0.57	13.97±1.31	5.35±0.10	293.42±19.39	2.82±0.13
	180	10.53±0.61	1.06±0.03	12.77±0.35	45.63±10.13	11.18±0.84	5.50±0.26	141.26±5.27	2.91±0.10
Tomate fresco convencional		14.65±0.49	1.55±0.03	20.16±0.55	11.60±2.13	36.35±0.90	11.33±0.08	132.70±0.00	2.26±0.03
CC	0	15.35±0.50	0.70±0.13	8.99±0.54	40.58±3.11	18.63±0.28	8.08±0.37	453.09±15.43	2.41±0.48
	60	15.15±2.96	0.80±0.05	8.62±0.56	44.44±4.41	17.54±0.23	5.71±0.05	450.08±19.10	2.81±0.18
	120	14.07±0.60	0.82±0.17	9.60±1.14	63.22±1.28	10.59±0.50	3.72±1.24	341.08±22.14	3.04±0.16
	180	14.09±0.71	1.05±0.11	11.59±1.37	51.04±8.00	8.66±1.08	2.95±0.49	128.61±1.77	3.85±0.12
CE	0	15.56±0.28	0.79±0.09	9.17±2.69	47.32±4.08	19.91±0.05	8.05±0.68	478.83±17.77	2.52±0.65
	60	16.24±1.11	0.88±0.17	9.14±0.97	49.73±3.15	18.60±1.07	6.03±1.29	436.58±11.47	2.86±0.05
	120	13.64±0.80	0.79±0.06	10.57±2.20	66.90±1.50	12.20±1.18	4.32±0.00	327.05±25.69	2.92±0.01
	180	14.84±0.49	1.04±0.11	13.18±3.26	51.54±8.00	9.89±0.77	3.84±0.66	121.57±0.84	3.92±0.14
ANOVA de un factor (almacenamiento)		NS	***	**	***	***	***	***	***

NS= No significativo, (*) significativo p<0.05, (**) significativo p<0.01, (***) significativo p<0.001.

Tabla 31. Resultados de los elementos minerales en tomate fresco y tomate triturado, expresados en mg/100 g de materia fresca, almacenado durante 180 días y del ANOVA de un factor (tiempo de almacenamiento)

Minerales	Tomate fresco ecológico	EE		Tomate fresco convencional	CC		CE		ANOVA de un factor (t)
		0	180		0	180	0	180	
K	299.69±41.11	368.94±96.83	357.37±5.26	245.45±18.20	339.04±26.02	237.04±41.69	296.20±30.40	251.33±15.50	NS
Ca	12.42±1.11	10.65±1.46	9.60±0.55	16.35±0.57	11.84±0.86	9.70±1.42	12.83±0.81	12.71±0.11	NS
Na	19.60±2.67	97.48±22.37	78.32±3.74	13.41±1.46	70.56±9.77	72.31±14.20	92.40±32.68	118.65±11.67	NS
Mg	12.65±1.53	14.48±1.02	12.56±0.64	13.19±0.34	13.03±1.07	10.69±1.59	13.11±0.71	13.26±0.29	NS
Fe	0.94±0.07	0.76±0.03	0.61±0.08	0.97±0.07	1.88±0.01	0.84±0.14	0.37±0.05	0.57±0.24	NS
Zn	0.25±0.01	0.18±0.02	0.17±0.01	0.21±0.01	0.15±0.00	0.16±0.04	0.12±0.01	0.14±0.00	NS
Mn	0.07±0.02	0.06±0.00	0.06±0.00	0.10±0.00	0.12±0.00	0.09±0.01	0.09±0.01	0.01±0.00	NS
Cu	0.06±0.02	0.06±0.01	0.06±0.01	0.07±0.00	0.07±0.01	0.06±0.01	0.06±0.01	0.07±0.00	NS
Se	0.01±0.01	0.005±0.002	0.018±0.001	0.03±0.01	0.007±0.00	0.006±0.003	0.011±0.008	0.013±0.007	NS

t= tiempo de almacenamiento, NS= No significativo, (*) significativo p<0.05, (**) significativo p<0.01, (***) significativo p<0.001.

El hecho de que el producto CE presente un mayor contenido de ácido cítrico que el EE puede ser debido a que la cantidad de zumo de limón adicionado ha sido superior ya que el pH de la muestra ecológica de partida era inferior (**Tabla 27**).

Caris-Veyrat y col. (2004) obtienen al igual que en este estudio mayores concentraciones de vitamina C en puré de tomate ecológico que en el producto convencional, y tampoco encuentran diferencias significativas en el contenido de β -caroteno. Por el contrario, si indican haber encontrado mayores concentraciones de compuestos fenólicos en el producto ecológico y no hallaron diferencias significativas en la concentración de licopeno entre los dos tipos de productos.

Influencia del tipo de elaboración

En la **Tabla 32** se observa que únicamente existen pequeñas diferencias significativas en las variables de **ácido oxálico** y **málico** e **hierro**. La conserva CE presenta mayor concentración de los ácidos y un menor contenido de hierro (**Tabla 30**).

Tabla 32. Test t-Student entre las variables nutricionales analizadas en tomate fresco y triturado de tomate recién elaborado

Variable	Materia prima ecológica-materia prima convencional	Efecto de la materia prima (CE-EE)	Efecto de la elaboración (CE-CC)
Licopeno	*	**	NS
-caroteno	NS	NS	NS
Compuestos fenólicos totales	NS	NS	NS
Ácido oxálico	NS	NS	*
Ácido málico	*	*	**
Ácido ascórbico	**	**	NS
Ácido cítrico	***	**	NS
Ácido fumárico	NS	NS	NS
K	NS	NS	NS
Ca	*	NS	NS
Na	NS	NS	NS
Mg	NS	NS	NS
Fe	NS	*	*
Zn	NS	NS	NS
Mn	NS	NS	NS
Cu	NS	NS	NS
Se	NS	NS	NS

Influencia del tiempo de almacenamiento

En las **Tablas 30 y 31**, se recoge el análisis de la varianza de un factor (tiempo de almacenamiento) sobre los datos de los micronutrientes analizados en los triturados de tomate. Las respectivas tablas de ANOVA de cada una de las variables analizadas se encuentran en el **ANEXO C**.

Tal como se puede observar el **licopeno** y los minerales **K, Ca, Na, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu y Se** no se ven afectados por el tiempo de almacenamiento en los productos evaluados. Por el contrario, las variables: **β -caroteno, compuestos fenólicos totales y los ácidos oxálico, málico, ascórbico, cítrico y fumárico** se ven influenciados significativamente por el tiempo de almacenamiento.

El incremento observado de la concentración del **licopeno** después del procesado del tomate (**Tabla 30**), puede estar explicado en la reducción de los sólidos totales durante el procesado de los tomates y su estabilidad térmica.

Durante los procesos de elaboración de los derivados de tomate se presenta la desintegración de los cloroplastos y la consecuente liberación y disolución del licopeno en la fase lipídica, la cual, le confiere mayor estabilidad térmica a este pigmento (**Anese y col., 2002; Periago y col., 2004 y Camacho y col., 2004**).

Akanbi y Oludemi (2004) afirman que la piel puede actuar como un sistema de protección natural frente a la oxidación del licopeno ante el oxígeno durante el tratamiento de calor en pulpa de tomate. La inactivación enzimática realizada en los frutos de tomates en este estudio a 80 °C durante un minuto (Hot-Break) puede haber contribuido a la estabilidad del licopeno. **Tamburini y col. (1999)** informan que la inactivación térmica de las enzimas permite conservar la integridad de la pared celular y, por lo tanto, no expone al licopeno a la oxidación, fenómeno que puede ocurrir durante la trituración de los frutos.

Otra posible explicación a la resistencia térmica de este caroteno la exponen **Takeoka y col. (2001)** que sugieren que otros antioxidantes tales como el ácido ascórbico, tocoferol, β -caroteno y los fenoles juegan un papel importante en prevenir la degradación del licopeno durante el procesado térmico.

En la **Tabla 31** se observa un incremento del potasio y el sodio después del procesado del tomate. Respecto al sodio el hecho de adicionar cloruro de sodio en las conservas ha incrementado el nivel de este mineral.

El **β -caroteno** a diferencia del licopeno ha descendido en más del 50% después del procesado de los tomates (**Tabla 30**). Después de 180 días de almacenamiento este caroteno presenta un incremento significativo de 44.98% del contenido inicial en los productos de tomate.

Estos resultados parecen ser contradictorios a los registrados por otros autores como **Dietz y Gould (1986)** que registran una pérdida del 40.30% del β -caroteno en zumo de tomate después de 210 días de almacenamiento a 22 °C. **Lin y Chen (2005b)** señalan una degradación de más del 70% del β -caroteno presente en zumo de tomate durante 90 días de almacenamiento a 25 °C. Igualmente **Vashista y col. (2003)** registran un 12% de degradación de este micronutriente en sopa de tomate almacenada durante 60 días a temperatura ambiente de 30 °C. Las causas de la degradación de este caroteno durante el almacenamiento principalmente se deben a la isomeración y la oxidación (**Rodríguez-Amaya, 1999a; Nguyen y Schwartz, 1999; Shi, 2000 y Calligaris y col., 2002**)

Durante la elaboración de los diferentes derivados de tomate, gran parte de los carotenos especialmente licopeno y β -caroteno son removidos al ser eliminada la piel en el proceso. En el estudio realizado por **Lin y Chen (2005a)** se evidencia que después de la operación de tamizado, donde es eliminada en gran parte la piel del tomate, la concentración de β -caroteno desciende drásticamente.

En otro estudio, **Reboul y col. (2005)** indican que el nivel de β -caroteno es incrementado en un 100% al incorporar la piel en la elaboración de pasta de tomate.

A la luz de estos autores es probable que durante el almacenamiento de los tomates triturados hayan ocurrido procesos de hidrólisis que desestabilizaran los agregados proteína- β -caroteno presentes en la piel, liberando así este caroteno.

Los **compuestos fenólicos totales** al ser procesados los tomates se redujeron en más del 45% del contenido inicial (**Tabla 30**). La reducción de estos compuestos probablemente es debido a los tratamientos de calor, tal como lo indican **Re y col. (2002)**, **Sahlin y col. (2004)** y **Toor y Savage (2006)**. Contrario a este estudio **Giovanelli y Paradiso (2002)**, **Gahler y col. (2003)** y **Chang y col. (2006)** registran un incremento del total de fenoles en tomates debido al procesado térmico.

Después de 180 días de almacenamiento los compuestos fenólicos se incrementan significativamente en un 37.26% en los productos evaluados (**Figura 85**).

Lavelli y Giovanelli (2003) registran un aumento en el contenido inicial de compuestos fenólicos al finalizar el periodo de almacenamiento en productos de tomate, indican que una posible explicación del incremento de los fenoles esté relacionado con procesos de hidrólisis. **Lavelli y col. (1999)** afirman que el incremento de fenoles en los productos de tomate se debe principalmente a dos factores: a la formación de grupos hidroxilo libres debido a la hidrólisis de los flavonoides glucosídicos o a la liberación de compuestos fenólicos por parte de la pared celular.

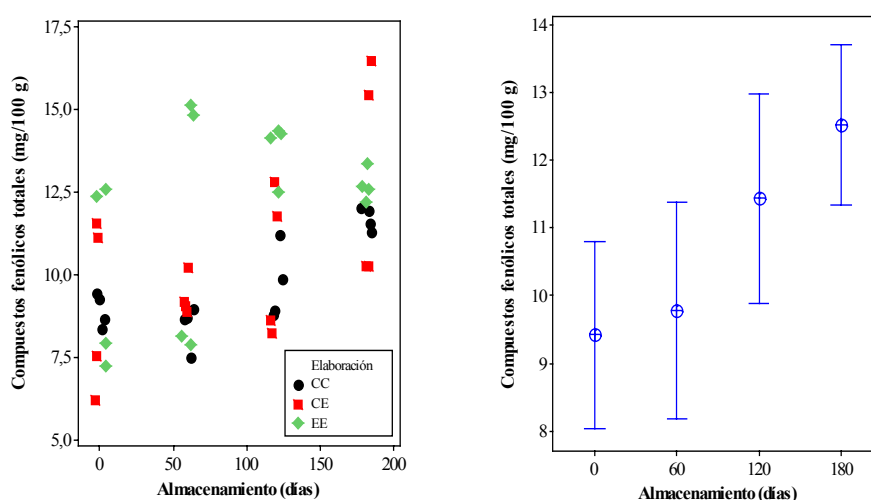


Figura 85. Compuestos fenólicos totales (mg de ácido gálico/100 g de materia fresca) de los triturados de tomate a lo largo del tiempo de almacenamiento

La concentración inicial de **ácido oxálico** en los tomates triturados superan en 2.5 veces más el nivel registrado por los tomates en fresco (**Tabla 30**). Probablemente este aumento es debido a la acción del calor que aceleró la extracción de este ácido de las células del tomate.

Durante el almacenamiento se presenta un incremento significativo a los 120 días, seguido de una reducción al finalizar los 180 días de almacenamiento (**Figura 86**). Al concluir el periodo de almacenamiento este ácido en los productos evaluados se incrementa en un 17.49% respecto al valor inicial.

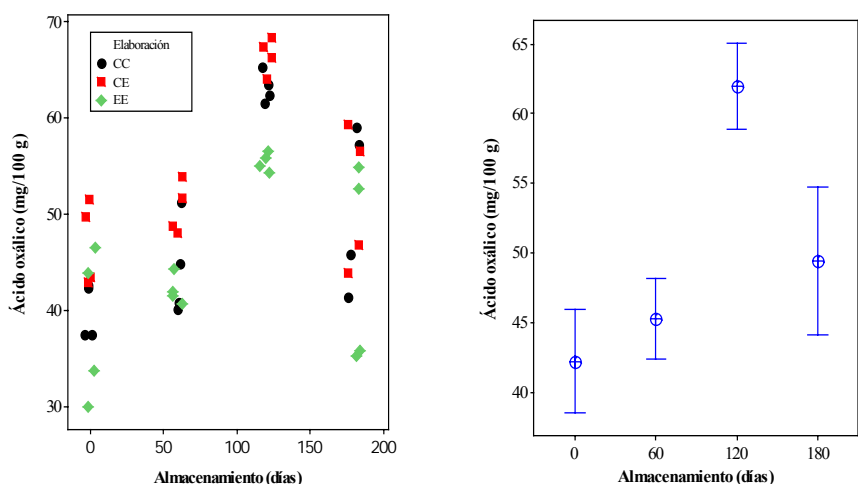


Figura 86. Ácido oxálico de los triturados de tomate a lo largo del tiempo de almacenamiento

El nivel de **ácido málico**, después del procesado de los frutos de tomate descendió en un 26.64% (**Tabla 30**). El contenido inicial de ácido málico desciende significativamente a partir de los 120 días de almacenamiento y al finalizar los 180 días la concentración de este ácido desciende en los productos evaluados un 50.76% (**Figura 87**). La pérdida de este ácido durante el procesamiento del tomate y el almacenamiento puede ser debido a fenómenos de oxidación tal como sucede con el ácido ascórbico

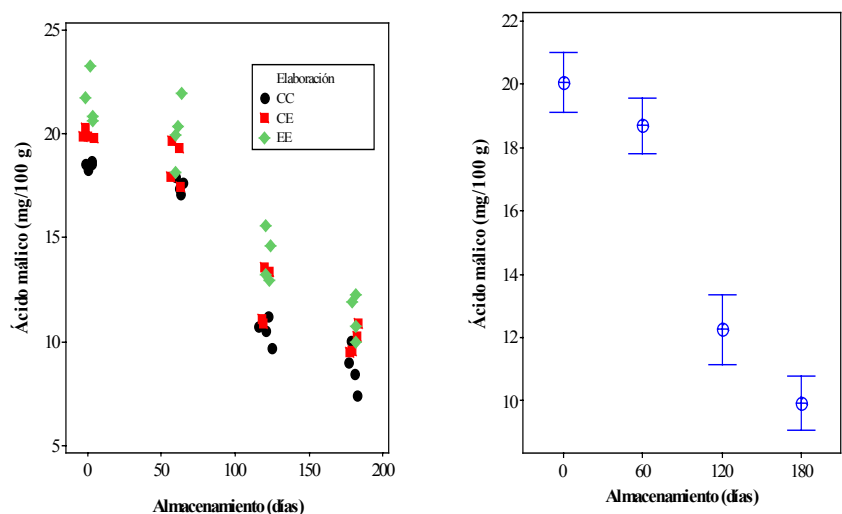


Figura 87. Ácido málico de los triturados de tomate a lo largo del tiempo de almacenamiento

La concentración de **ácido ascórbico** se redujo después del procesado de los tomates en un 28.74% (**Tabla 30**). Las altas temperaturas utilizadas durante la elaboración son la causa de las pérdidas de tan importante antioxidante. **Abushita y col. (2000)** registran pérdidas del 54% durante la elaboración de pasta de tomate y **Gahler y**

col. (2003) durante la elaboración de jugo de tomate obtienen pérdidas superiores al 60%. Igualmente **Sahlin y col. (2004)** registran importantes pérdidas de este ácido durante la cocción de tomate. La reducción del ácido ascórbico se debe, principalmente, a las reacciones químicas que involucran la oxidación a la forma dehidroascórbico (DHAA), hidrólisis del DHAA al ácido 2,3-dicetogulónico y la generación por polimerización de productos inactivos nutricionalmente (**Dewanto y col., 2002**).

El contenido de ácido ascórbico de los tomates triturados desciende al finalizar los 180 días en un 52.58% (**Figura 88**). Igualmente **Saccani y col. (2001)** y **Vashista y col. (2003)** indican pérdidas del 43.76% y 53.47% de este ácido, respectivamente, en derivados de tomate que han sido almacenados a temperatura ambiente. **Wiese y Dalmasso (1994)** indican una reducción del 60% de este antioxidante en jugo de tomate después de 180 días de almacenamiento.

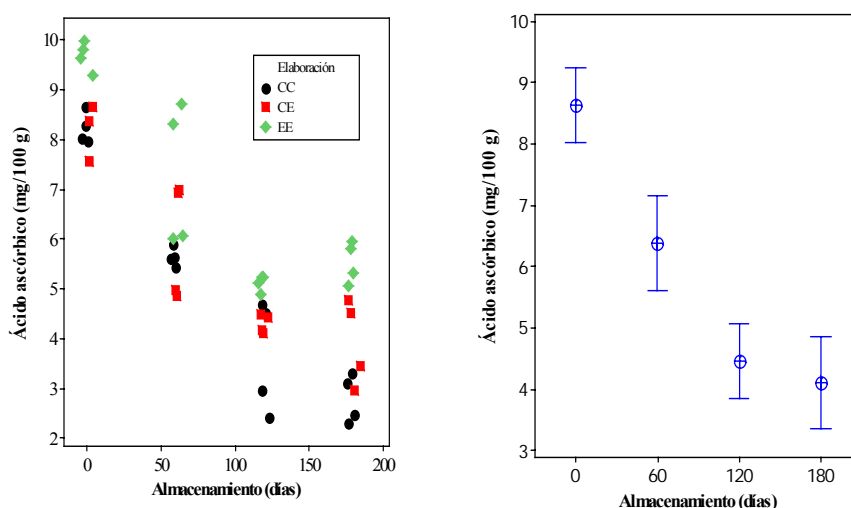


Figura 88. Ácido ascórbico de los triturados de tomate a lo largo del tiempo de almacenamiento

En la **Figura 89** se representa la concentración del HMF frente a la pérdida de los ácidos ascórbico y málico durante el tiempo de almacenamiento (0, 60, 120 y 180 días) en los productos analizados. El aumento de la concentración de HMF y la pérdida de los ácidos málico y ascórbico presentan un buen coeficiente de regresión ($R^2=0.9783$ y $R^2=0.8153$, respectivamente), lo que indica que estos dos ácidos influyen en la formación del HMF. Este comportamiento ha sido descrito previamente por **Min y Zhan (2003)** durante el almacenamiento de jugo de tomate. Estos autores afirman que la destrucción del ácido ascórbico proporciona grupos reactivos carbonil que reaccionan

con aminoácidos tales como lisina y ácido glutámico para formar los compuestos del pardeamiento no enzimático. Igualmente **Kus y col. (2005)** informan que este tipo de compuesto se forma en los productos de tomate debido al calentamiento de los azúcares en presencia de ácidos orgánicos. **Resnik y Chirife (1979)** informan que el ácido málico puede actuar como un buen catalizador en la degradación de fructosa y glucosa.

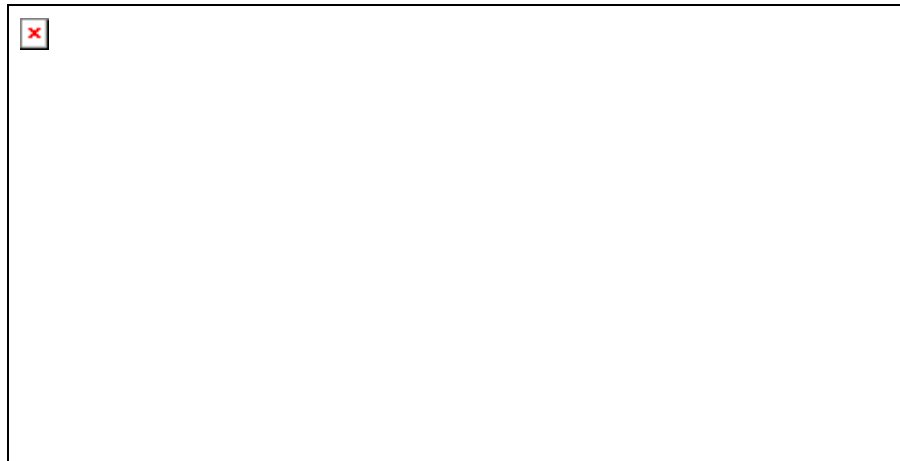


Figura 89. Concentración de HMF frente a la pérdida de ácido ascórbico y ácido málico en los triturados de tomate

El **ácido cítrico** describe un incremento en un 194.75% en los productos procesados frente a los tomates en fresco (**Tabla 30**), consecuencia de la adición de zumo de limón y/o ácido cítrico durante la elaboración. Después de 60 días de almacenamiento este ácido presenta una reducción significativa en los productos analizados y al finalizar el periodo de almacenamiento más del 70% de este ácido se reduce en las muestras analizadas (**Figura 90**).

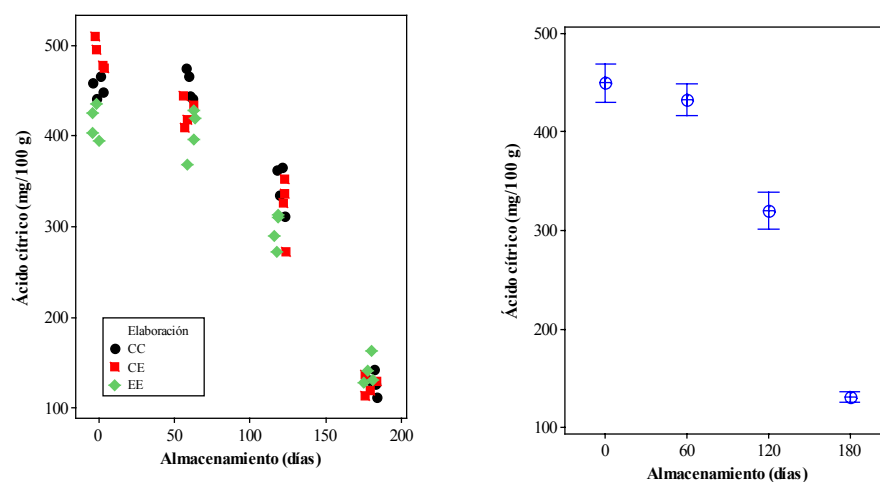


Figura 90. Ácido cítrico de los triturados de tomate a lo largo del tiempo de almacenamiento

La concentración del **ácido fumárico** sufre un ligero incremento después del procesado de los tomates (**Tabla 30**). La concentración de este ácido se eleva significativamente a partir de los 120 y 180 días de almacenamiento y al finalizar el periodo de almacenamiento este ácido se incrementa un 46.55% (**Figura 91**).

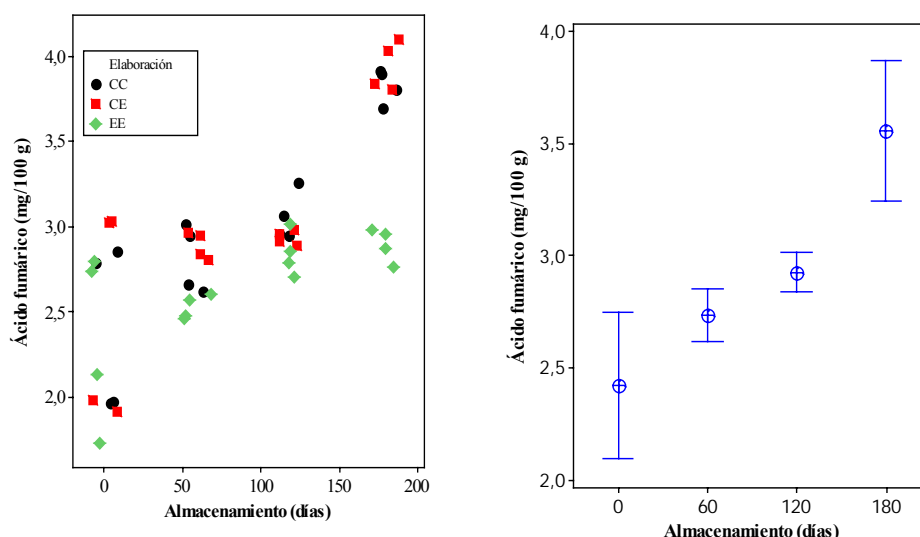


Figura 91. Ácido fumárico de los triturados de tomate a lo largo del tiempo de almacenamiento

Probablemente, la hidrólisis de las sustancias pécticas pueden haber contribuido al incremento de la concentración del ácido fumárico durante el almacenamiento. **Kadakal y col. (2002)** indican que el ácido fumárico se puede formar a partir de la hidrólisis térmica de las pectinas.

Con todos los datos obtenidos en las muestras analizadas se ha realizado el análisis de correlación de Pearson. Un valor alto de sólidos totales en las conservas evaluadas se ve altamente correlacionado con valores altos de sólidos solubles ($r=0.89$, $p<0.01$), PPH ($r=0.66$, $p<0.05$) y MIA ($r=0.68$, $p<0.05$).

En las conservas evaluadas valores elevados de a^*/b^* están altamente correlacionado con valores elevados de licopeno ($r=0.87$, $p<0.01$).

La degradación del TSP durante el almacenamiento está altamente correlacionado con la reducción del contenido de PPH ($r=0.72$, $p<0.01$) y el incremento del ácido fumárico ($r=-0.77$, $p<0.01$).

El incremento del HMF durante el almacenamiento de las conservas evaluadas se ve favorecido con la degradación de los ácidos orgánicos málico ($r=-0.98$, $p<0.01$), ascórbico ($r=-0.90$, $p<0.01$) y cítrico ($r=-0.90$, $p<0.01$).

En relación con los datos obtenidos al evaluar los tomates triturados, se observa que las diferencias encontradas en los tomates de partida (procedentes del cultivo ecológico y convencional) se mantienen, en general, tras la elaboración de los triturados de tomate. Por otro lado el proceso de elaboración apenas afecta a las variables analizadas.

Aunque los productos obtenidos son estables en el tiempo, se observa que al aumentar el tiempo de almacenamiento las variables de PPH, MIA, TSP, fructosa, glucosa, ácido málico, ácido ascórbico y ácido cítrico disminuyen, mientras que el β -caroteno, compuestos fenólicos totales, ácido oxálico, ácido fumárico e HMF se incrementan.

4.3. DERIVADOS COMERCIALES DE TOMATE

Durante la elaboración de los concentrados de tomate diversos parámetros pueden ser utilizados para realizar el seguimiento del procesado de este tipo de productos, especialmente los que ofrecen información de los cambios del color, la consistencia y el sabor. Un amplio número de estas técnicas son altamente costosas debido a la demanda de reactivos, equipos y tiempo. Esto limita que empresas artesanales elaboradoras de productos de tomate puedan hacer uso de estas técnicas para realizar el seguimiento de sus productos.

Con el propósito de ofrecer una alternativa a este tipo de empresas se han evaluado 18 variables relacionadas con las características físico-químicas en 25 productos de tomate de diferentes orígenes que representan distintos niveles de elaboración (**Tabla 33**) con el objetivo de identificar y seleccionar un número reducido de variables que permitan llevar a cabo el seguimiento del proceso de elaboración de los derivados de tomate.

4.3.1. Caracterización físico-química

Las variables consideradas son: **pH**, **acidez total**, **Aw**, **sólidos totales**, **sólidos solubles**, **cloruro de sodio (NaCl)**, **ácido ascórbico**, **licopeno**, **5-hidroximetil-2-furfural (HMF)**, **L***, **a***, **b***, **a*/b***, **C***, **H°**, **porcentaje de pulpa húmeda (PPH)**, **materia insoluble en alcohol (MIA)** y **total de sustancias pécticas (TSP)**.

Los valores medios de las variables evaluadas y los respectivos estadísticos descriptivos están recogidos igualmente en la **Tabla 33**.

El **pH** y la **acidez total** de las muestras analizadas se encuentran entre 4.08 y 4.63 y 0.30 y 2.47, respectivamente (**Tabla 33**). Estos parámetros físico-químicos son similares a los registrados por otros autores (**Sandoval y col., 1992**; **Porretta y Poli, 1993**; **Barreiro y col., 1997** y **Hernández y Cano, 1998**).

El valor de pH de los derivados de tomate de procedencia europea es inferior a 4.5 (**Tabla 33**), cumpliendo así lo estipulado en el **Reglamento (CE) 1764/1986**. Los productos españoles se ciñen además a lo establecido por la **Norma de Calidad de las Conservas Vegetales (1984)**, la cual establece un valor de pH máximo de 4.6.

33. Resultados de las variables físico-químicas evaluadas en los productos de tomate de origen comercial y de los estadísticos descriptivos

Producto	Origen	Observación	pH	Acidez total ⁽¹⁾	Aw	Sólidos Solubles (°Brix)	Sólidos totales (g/100 g)	NaCl (g/100 g ms)	Ácido ascórbico (mg/100 g)	Licopeno (mg/100 g)
Triturado (TT)	España	1	4.38±0.03	0.30±0.01	0.986±0.00	5.20±0.00	6.03±0.00	9.63±0.05	7.52±0.13	10.86±0.06
	España	2	4.35±0.02	0.45±0.01	0.991±0.00	5.80±0.00	6.90±0.03	1.26±0.03	10.67±0.26	7.96±0.13
	España	3	4.45±0.03	0.42±0.01	0.983±0.00	7.40±0.00	8.13±0.00	7.62±0.06	20.24±1.20	11.30±0.08
	España	4	4.21±0.01	0.45±0.01	0.988±0.00	6.00±0.00	6.94±0.03	7.51±0.04	11.72±0.32	11.40±0.30
	España	5	4.28±0.03	0.48±0.01	0.984±0.00	5.20±0.00	7.67±0.07	5.35±0.04	8.27±0.33	11.20±0.20
	España	6	4.42±0.03	0.50±0.01	0.989±0.00	6.40±0.00	6.45±0.09	1.22±0.02	2.82±0.07	7.87±0.18
	España	7	4.46±0.02	0.37±0.01	0.987±0.00	6.00±0.00	6.62±0.01	5.09±0.06	7.03±0.09	7.61±0.09
Puré (Pu)	Portugal	8	4.20±0.08	0.78±0.01	0.979±0.00	11.00±0.00	12.55±0.03	5.46±0.07	2.58±0.10	24.25±0.37
	Italia	9	4.25±0.03	0.75±0.01	0.978±0.00	10.00±0.00	11.67±0.04	3.56±0.02	2.43±0.61	26.09±0.33
	España	10	4.42±0.01	0.56±0.01	0.984±0.00	7.60±0.00	9.17±0.05	1.26±0.03	8.42±0.37	18.10±0.41
	USA	11	4.19±0.04	0.78±0.01	0.986±0.00	9.40±0.00	11.20±0.01	0.69±0.00	2.62±0.10	17.48±0.23
	USA	12	4.13±0.02	0.85±0.01	0.985±0.00	9.40±0.00	11.15±0.05	1.02±0.02	3.22±0.03	18.24±0.20
	México	13	4.56±0.02	0.47±0.01	0.985±0.00	7.40±0.00	8.91±0.09	0.63±0.00	4.58±0.16	12.44±0.32
	Colombia	14	4.47±0.01	0.42±0.01	0.984±0.00	8.60±0.00	10.03±0.04	3.22±0.04	5.04±0.49	16.16±0.15
Pasta (Pa)	Colombia	15	4.38±0.02	0.62±0.01	0.985±0.00	7.00±0.00	8.95±0.13	0.79±0.00	10.89±0.63	13.30±0.29
	Portugal	16	4.32±0.04	1.24±0.00	0.970±0.00	20.00±0.00	24.16±0.26	1.21±0.00	22.20±0.33	41.29±0.10
	USA	17	4.35±0.07	1.68±0.03	0.964±0.00	21.00±0.00	28.35±0.12	0.99±0.02	9.39±0.31	55.24±0.84
	USA	18	4.23±0.02	2.34±0.01	0.953±0.00	24.60±0.00	30.39±0.04	0.89±0.01	8.74±0.77	55.01±0.94
	USA	19	4.08±0.02	2.01±0.02	0.960±0.00	24.20±0.00	28.48±1.00	0.81±0.00	8.40±0.05	49.56±0.11
	Colombia	20	4.24±0.01	1.49±0.02	0.961±0.00	18.40±0.00	20.26±0.01	5.70±0.03	12.66±0.45	35.88±0.42
	Chile	21	4.63±0.01	0.95±0.03	0.966±0.00	18.60±0.00	21.34±0.04	0.96±0.03	18.72±0.56	23.22±0.44
2x	Colombia	22	4.49±0.01	1.09±0.02	0.951±0.00	21.40±0.00	23.03±0.10	8.69±0.02	4.29±0.28	47.04±1.13
	Italia	23	4.25±0.01	1.90±0.00	0.952±0.00	28.20±0.00	32.48±0.16	1.64±0.03	6.94±0.13	86.97±1.96
3x	Francia	24	4.39±0.01	1.78±0.01	0.951±0.00	28.40±0.00	31.96±0.08	1.01±0.03	2.85±0.05	74.70±0.87
	Italia	25	4.27±0.03	2.47±0.04	0.936±0.00	35.70±0.00	40.63±0.40	1.60±0.03	11.12±0.01	107.32±1.36
Mínimo			4.08	0.30	0.936	5.20	6.03	0.69	2.43	7.61
Media			4.34	1.01	0.974	14.10	16.54	3.11	8.53	31.62
Máximo			4.63	2.50	0.991	35.70	40.63	9.63	22.2	107.3
DS			0.13	0.67	0.016	9.03	10.48	2.88	5.48	26.97
CV (%)			3.11	66.25	1.61	64	63.40	92.43	64.26	85.29

(1) g de ácido cítrico/100 g materia fresca, 2x = doble concentrado de tomate, 3x = triple concentrado de tomate, DS= desviación estándar y CV= coeficiente de variación.

Tabla 33. (Continuación) Resultados de las variables físico-químicas evaluadas en los productos de tomate de origen comercial y de los estadísticos descriptivos

Producto	Origen	Observación	HMF (mg/kg)	L*	a*	b*	a*/b*	C*	H°	PPH (%)	MIA (g/100 g ms)	TSP (g/100 g ms)
Triturado (TT)	España	1	15.50±0.05	17.07±0.18	18.55±0.14	16.42±1.16	1.13±0.07	24.78±0.87	41.52±0.20	16.94±0.79	20.45±0.68	8.89±0.12
	España	2	36.80±0.10	11.63±0.51	20.41±0.12	14.41±0.61	1.42±0.05	24.99±0.44	35.21±1.03	15.61±0.04	20.65±0.39	13.37±0.19
	España	3	6.98±0.04	18.32±1.13	21.09±0.09	18.85±0.18	1.12±0.07	28.29±0.91	41.78±0.19	18.46±0.04	21.26±0.43	7.70±0.07
	España	4	8.34±0.04	12.63±0.41	19.79±0.05	16.08±0.79	1.23±0.11	25.50±1.03	39.09±0.27	20.34±0.32	21.56±0.62	11.01±0.20
	España	5	8.35±0.04	13.28±0.41	19.48±0.44	16.05±0.24	1.21±0.03	25.24±0.40	39.49±0.69	20.32±0.31	21.61±0.30	11.85±0.20
	España	6	8.25±0.02	8.99±0.69	20.05±0.39	12.15±0.60	1.65±0.12	23.45±0.40	31.20±0.17	13.87±0.46	22.02±0.03	12.52±0.03
	España	7	7.16±0.04	7.95±0.51	20.55±0.17	11.12±0.68	1.85±0.11	23.37±0.38	28.41±0.14	18.91±0.08	22.16±0.06	16.06±0.19
Puré (Pu)	Portugal	8	28.38±0.25	4.72±0.43	15.04±1.41	6.78±0.69	2.22±0.05	16.49±1.56	24.27±0.45	60.83±0.55	22.35±0.10	6.06±0.10
	Italia	9	19.50±0.24	5.50±1.00	17.58±1.11	8.10±1.25	2.17±0.19	19.36±1.53	24.73±0.19	34.79±0.28	22.99±0.28	10.49±0.02
	España	10	22.73±0.21	7.31±1.16	20.97±0.17	10.42±0.15	2.01±0.32	23.42±0.63	26.42±0.36	22.46±0.07	23.66±0.16	14.61±0.26
	USA	11	13.15±0.04	10.32±1.03	17.69±0.62	13.13±0.40	1.35±0.41	22.03±0.28	36.58±0.74	26.11±0.07	24.25±0.03	7.95±0.19
	USA	12	17.34±0.17	8.74±1.12	17.45±0.22	11.56±0.97	1.51±0.19	20.94±0.83	33.53±0.33	30.70±0.24	24.30±0.70	12.34±0.29
	México	13	15.35±0.06	8.02±1.51	18.91±0.21	11.14±0.46	1.70±0.20	21.94±0.59	30.50±0.36	18.81±0.20	25.07±0.70	12.00±0.17
	Colombia	14	6.77±0.01	7.23±1.31	17.79±0.41	10.28±0.38	1.73±0.23	20.55±1.14	30.03±0.45	21.27±0.37	25.17±0.00	15.45±0.27
Pasta (Pa)	Colombia	15	8.75±0.09	7.63±1.05	19.62±0.09	10.19±0.18	1.93±0.15	22.15±0.45	27.39±0.19	20.58±0.11	25.69±0.81	10.52±0.16
	Portugal	16	26.11±0.36	3.81±0.42	11.93±0.99	5.81±0.60	2.05±0.04	13.27±1.15	25.97±0.49	54.51±0.81	26.01±0.53	9.27±0.11
	USA	17	22.36±0.09	6.90±1.12	15.24±0.17	7.29±0.68	2.09±0.23	16.90±0.36	25.57±0.24	99.86±0.13	26.31±0.51	17.11±0.26
	USA	18	68.84±0.13	6.79±1.23	11.09±0.18	6.02±1.39	1.84±0.19	12.62±0.31	28.50±0.25	99.40±0.24	26.51±1.57	20.52±0.36
	USA	19	25.75±0.25	18.89±0.90	15.58±1.25	11.11±1.25	1.40±0.09	19.13±1.11	35.50±0.18	94.17±0.44	28.65±0.00	15.63±0.18
	Colombia	20	14.42±0.19	3.36±0.33	9.55±0.75	4.91±0.58	1.95±0.14	10.74±0.90	27.19±0.16	54.13±1.47	28.88±0.06	12.16±0.21
	Chile	21	9.91±0.08	8.23±0.96	18.57±0.80	10.87±0.38	1.46±0.35	21.52±0.32	30.34±0.60	50.36±0.16	31.25±0.10	11.42±0.14
2x	Colombia	22	15.29±0.02	10.74±1.16	16.07±0.46	11.04±0.34	1.71±0.38	19.49±0.09	34.48±0.45	65.40±1.53	29.90±0.75	11.74±0.18
	Italia	23	29.50±0.14	20.01±0.77	18.08±0.77	11.84±0.70	1.53±0.07	21.61±0.56	33.22±1.26	75.25±1.54	43.97±0.52	7.63±0.14
3x	Francia	24	60.42±0.49	5.34±0.98	12.13±1.21	5.37±0.75	2.26±0.17	13.27±1.37	23.89±0.18	61.48±0.07	57.00±0.79	16.83±0.31
	Italia	25	128.88±2.07	10.42±1.04	15.05±1.45	8.65±0.19	1.74±0.29	17.36±0.22	29.88±0.38	84.19±0.11	25.69±0.54	5.25±0.07
Mínimo			6.77	3.36	9.55	4.91	1.13	10.74	23.89	13.87	20.45	5.25
Media			24.99	9.71	17.13	10.80	1.69	20.34	31.39	43.95	27.00	11.94
Máximo			128.88	20.01	21.09	18.80	2.26	28.29	41.78	99.86	57.00	20.52
DS			26.67	4.71	3.24	3.69	0.35	4.50	5.43	29.01	8.06	3.71
CV (%)			107.72	48.45	18.89	34.20	20.48	22.12	17.30	66	29.84	31.09

2x = doble concentrado de tomate, 3x = triple concentrado de tomate, DS= desviación estándar y CV= coeficiente de variación.

La **FDA (1996)** de Estados Unidos, indica que los concentrados de tomate deben presentar un valor de pH superior a 2 e igual o inferior a 4.2. A la luz de esta especificación tan solo la conserva 17 no cumple con lo señalado por esta norma (**Tabla 33**).

La muestra 13 de origen mexicano da cumplimiento a la norma mexicana **NOM-130 SSA1/1995** la cual establece un $\text{pH} \leq 4.6$.

La Norma Técnica Colombiana **NTC-1287/2004**, establece un valor máximo de pH igual a 4.3, de acuerdo a esta norma, de las muestras colombianas sólo la muestra 20 cumple con esta especificación. La muestra 21 que es elaborada en Chile y comercializada en Colombia tampoco cumple con lo establecido en dicha norma (**Tabla 33**).

El **Reglamento (CE) 1764/1986** indica, respecto a la acidez, que los productos a base de tomate deben contener menos de 10 g de ácido cítrico/100 g de materia seca. Todas las muestras europeas cumplen con lo estipulado en el citado Reglamento Comunitario. La **USDA, (1977, 1978)**, la **FDA, 1996**, **NOM-130-SSA1-1995** y **NTC-1287-2004** no establecen especificación alguna en la acidez para este tipo de productos.

Los valores de **actividad de agua** de los productos analizados varía entre 0.936 y 0.991 (**Tabla 33**). Las muestras evaluadas presentan valores normales para este tipo de productos (**Frazier y Westhoff, 1993**).

Los **sólidos totales** de las muestras analizadas varían entre 6.03 y 40.63 g/100 g de materia fresca (**Tabla 33**). Valores similares han obtenido previamente **Sandoval y col. (1992, 1994)**, **Barreiro y col. (1997)**, **Anese y col. (2002)**, **Giovanelli y Lavelli, (2002)**, **Plaza y col. (2003)**, **Bicanic y col. (2004)** y **Sánchez y col. (2004)**. Los productos más elaborados disponen de mayor concentración de sólidos totales, debido a una mayor eliminación de agua y pérdida de compuestos volátiles durante la evaporación (**Tonucci y col., 1995; Abushita y col., 2000**).

Según el **Código Alimentario Español (1967)** el puré de origen español se encontraría dentro del límite estipulado en sólidos totales para este tipo de producto (7 y el 12%). En la normativa consultada tanto, estadounidense, mexicana como colombiana no se especifica el valor de sólidos totales para este tipo de productos.

Las muestras evaluadas en este estudio presentan un nivel de **sólidos solubles** entre 5.20-35.70 °Brix (**Tabla 33**). Valores similares registran **Tanglertpaibul y Rao, (1987)**, **Porretta y Poli, (1993)**, **Barreiro y col. (1997)** y **Hernández y Cano (1998)**.

La Norma de Calidad para Conservas (1984) fija como mínimo un contenido de sólidos solubles en tomate triturado de 4 °Brix y en puré de 5 °Brix, cumpliendo todos los productos españoles analizados este requisito.

La Norma Técnica Colombiana **NTC-1287/2004** establece en puré de tomate un contenido mínimo de 10 °Brix, no cumpliendo ninguna de las muestras de este país de origen lo señalado en la citada norma (**Tabla 33**). Igualmente dicha norma especifica en pasta de tomate un contenido mínimo de 18 °Brix. Las muestras de origen colombiano (20 y 22) y chilena (21) cumplen con lo establecido en dicha norma (**Tabla 33**).

Las muestras de puré de tomate (10, 13, 15) y pasta de tomate (16, 17, 20, 21, 22) no cumplen con el nivel de sólidos solubles estipulado en el **CODEX-STAN 57-1981** para este tipo de productos. Los productos de Estados Unidos se ciñen al nivel de sólidos solubles establecidos en La **USDA, (1977, 1978)**, salvo la muestra 17.

La concentración de **cloruro de sodio** de las muestras evaluadas está entre 0.63 y 9.63 g/100 g de materia seca (**Tabla 33**).

El **Reglamento (CE) 1764/1986** y el **Código Alimentario Español (1967)** establecen que el contenido de cloruro sódico en los productos a base de tomate no debe superar los 15 g/100 g de materia seca cuando el derivado presente una concentración de materia seca superior al 20%. Las muestras europeas evaluadas que cumplen esta premisa (16, 23, 24 y 25) se adecuan a lo establecido por el Reglamento europeo (**Tabla 33**).

Igualmente, en este Reglamento se indica que los concentrados de tomate con un contenido de materia seca inferior al 20% no deben superar los 3 g de cloruro sódico/100g de materia seca. Únicamente las muestras europeas 10, 2, 6 cumplen con esta condición.

La norma estadounidense, mexicana y colombiana consultadas no especifican cual podría ser el valor del contenido de cloruro para estos tipos de productos.

La concentración de **ácido ascórbico** de las muestras analizadas oscila entre 2.43 y 22.20 mg/100 g de materia fresca (**Tabla 33**). El puré de tomate, muestra 15, está dentro del rango indicado por **Saccani y col. (2001)** y **USDA (2005)**. Igualmente la pasta de tomate (16 y 21) presenta niveles dentro del rango registrado por **Podsdek y col. (2003)** y **USDA (2005)**. Las normas consultadas no especifican cual podría ser el

valor de ácido ascórbico en este tipo de productos.

La concentración de **licopeno** de los productos de tomate evaluados se encuentra entre 7.61 y 107.32 mg/100 g de materia fresca (**Tabla 33**). **Rao y col. (1998)**, indican, en tomate triturado comercial de origen norteamericano, concentraciones de licopeno de 22.38 mg/100 g de materia fresca. Todas las muestras analizadas de tomate triturado evaluadas en este estudio presentan concentraciones inferiores de licopeno a las registradas por los citados autores.

Esta diferencia en el nivel de licopeno pueden ser debido al tipo de elaboración, **Castaldo y col. (1995)** indican que la industria procesadora norteamericana permite adicionar jugo de tomate parcialmente concentrado (alrededor de 8° Brix o puré de tomate con una concentración de 12° Brix). En España, **La Norma de Calidad para Conservas (1984)** reseña que el tomate triturado es un derivado obtenido a partir de la trituración del fruto del tomate.

Las muestras de puré de tomate evaluadas en este estudio presentan valores de licopeno incluidos en el rango indicado por otros investigadores (**Sadler y col., 1990; Tonucci y col., 1995; Tamburini y col., 1999; Holden y col., 1999; Rodríguez-Amaya, 1999b; Leth y col., 2000; Shil, 2000; O'Neill y col., 2001; Lavelli y Giovanelli, 2003 y Bicanic y col., 2004, 2005**).

Igualmente los niveles de licopeno registrados por la pasta de tomate evaluadas en este estudio se hayan dentro del rango obtenido por **Khachik y col. (1992), Tonucci y col. (1995), Holden y col. (1999), Rodríguez-Amaya (1999b), ShiL (2000), Candogan (2002), Lugasi y col. (2003), Lavelli y Giovanelli (2003), Periago y col. (2004) y Bicanic y col. (2004)**.

Respecto al producto doble y triple concentrado de tomate los valores de licopeno obtenido en las muestras evaluadas en este estudio están dentro del rango descrito por **Bicanic y col. (2003, 2005)**.

Las normas consultadas no especifican cual podría ser el valor de esta variable en este tipo de productos.

La concentración de **5-hidroximetil-2-furfural (HMF)** de los productos analizados se encuentra comprendida entre 6.77 y 128.88 mg/kg de materia fresca (**Tabla 33**). Estos valores se ajustan al rango obtenido por **Porretta y Sandei (1991)** en derivados de tomate con similar nivel de sólidos solubles.

Las normas consultadas no especifican cual podría ser el valor de ácido ascórbico en este tipo de productos.

En cuanto al **color** $CIE_{L^*a^*b^*}$, los valores obtenidos para los parámetros (L^* , a^* , b^* , a^*/b^* , C^* y H°) en las muestras evaluadas, se recogen en la **Tabla 33**. Se observa que los menores valores lo representan los productos con mayor grado de elaboración.

La **Norma UNE 34-019/1975** clasifica las conservas de concentrados de tomate como de color aceptable cuando poseen una relación de color a^*/b^* igual o superior a 1.95 y color excelente si cuentan con un valor a^*/b^* igual o superior a 2.15. El puré español (**Tabla 33**) posee según esta norma un color aceptable.

Respecto al **porcentaje de pulpa húmeda (PPH)**, las muestras evaluadas presentan un rango comprendido entre 13.87 y 99.86 g de pulpa/100 g de materia fresca (**Tabla 33**). El puré muestra 8, las pastas de tomates, el doble concentrado de tomate (2x) y el triple concentrado de tomate (3x) evaluados en este estudio superan el rango registrado por **Caradec y col. (1985)** y **Tanglertpaibul y Rao (1987)**, por el contrario las restantes muestras se encuentran dentro del rango descrito por los citados autores.

En cuanto a la **materia insoluble en alcohol (MIA)**, las muestras evaluadas presentan concentraciones entre 20.45 y 57.00 en g/100 g de materia seca (**Tabla 33**). Estos valores son similares a los obtenidos por **Cámara y col. (2002)**, salvo en los productos de tomate doblemente concentrado (2x) que superan los valores registrados por estos autores.

En cuanto al **total de sustancias pécticas (TSP)** de las muestras evaluadas los valores obtenidos están entre 5.25 y 20.52 g de ácido galatúrnico/100 g de materia seca (**Tabla 33**). El tomate triturado, muestra 3, presentan valores similares a los obtenidos por **Porreta y Poli (1993)**, los restantes productos con igual denominación superan el valor registrado por estos autores.

Las normas consultadas no especifican cual podría ser el valor de PPH, MIA y TSP en este tipo de productos.

El rango de valores obtenidos (diferencia entre los valores máximos y mínimos) es amplio en el conjunto de las muestras analizadas en todos los casos, salvo en el pH y la actividad de agua (A_w) (**Tabla 33**). El pH, es un parámetro de calidad en el proceso de elaboración de los productos de tomate ya que un pH inferior a 4.5, inhibe el

crecimiento de *Bacillus coagulans* y *Clostridium pasteurianum*, bacterias responsables de la alteración de este tipo de productos (Hayes y col., 1998 y Clavero, 2001).

Respecto a la A_w , las muestras presentan valores normales para este tipo de productos (Frazier y Westhoff, 1993). La poca variabilidad en este parámetro indica que han sido sometidas a procesos leves de evaporación, en comparación con otros alimentos.

Las mayores variaciones se obtienen para HMF, NaCl y licopeno, con valores de CV próximos o superiores al 100%. Además del pH y A_w , las variables de H° , a^* , a^*/b^* y C^* son las que presentan variaciones más pequeñas (Tabla 33).

En la Tabla 34 se muestran los valores de los coeficientes de correlación lineal entre las diferentes variables estudiadas junto con su significación. Altas correlaciones positivas ($r > 0.80$, $p < 0.05$) se observa entre la acidez, sólidos solubles, sólidos totales, licopeno y PPH y fuerte correlación negativa ($r < -0.80$, $p < 0.05$) entre la A_w y todas estas variables.

Igualmente, se observa una correlación significativa ($p < 0.05$), entre de la acidez total, la A_w , los sólidos totales, los sólidos solubles y el licopeno con el HMF.

4.3.2. Análisis de componentes principales

En la Tabla 35, se presentan los resultados del análisis de componentes principales (ACP) realizado con las 18 variables analizadas en los 25 productos evaluados. Los 5 componentes principales explican el 90% de la varianza total. Las variables que tienen mayor peso en el primer componente principal (CP1) son la acidez, los sólidos totales, los sólidos solubles, el PPH, el licopeno y el HMF con valores positivos, y C^* , A_w , a^* y b^* con valores negativos. Según Thakur y col. (1996) los sólidos solubles y la acidez juegan un papel importante en el sabor de este tipo de productos.

Tabla 34. Coeficientes de correlación lineal entre las variables

r p	Ac	Aw	SS	ST	NaCl	AA	Lyc	HMF	L*	a*	b*	a*/b*	C*	H°	PPH	MIA	TSP
pH	-	.13	.19	.21	.08	.21	-.25	-.23	.14	.35	.13	.06	.27	.08	-.34	-.38	.10
	.39	.53	.36	.31	.69	.31	.23	.28	.52	.08	.55	.77	.19	.71	.10	.06	.63
Ac	-	.92	.95	.96	-.38	.07	.92	.73	.03	.72	.59	.30	.70	.32	.92	.49	.16
	.00	.00	.00	.06	.74	.00	.00	.89	.00	.00	.15	.00	.12	.00	.01	.44	
Aw	-	.98	.96	.15	.10	-.94	-.69	.02	.68	.54	-.27	.65	.29	-.86	-.30	-.05	
	.00	.00	.48	.63	.00	.00	.94	.00	.01	.19	.00	.16	.00	.15	.83		
SS	-	.99	.30	.12	.96	.72	.02	.68	.57	.30	.67	.33	.88	.33	.05		
	.00	.15	.56	.00	.00	.94	.00	.00	.14	.00	.11	.00	.11	.83			
ST	-	.96	.34	.14	.96	.71	.03	.69	.58	.32	.68	.34	.91	.37	.09		
	.10	.51	.00	.00	.90	.00	.00	.12	.00	.10	.00	.07	.68				
NaCl	-	.06	-.27	-.32	.28	.13	.43	-.41	.28	.48	-.26	-.24	-.28				
	.77	.20	.12	.17	.53	.03	.04	.17	.02	.21	.24	.17					
AA	-	.02	.03	.09	.06	.10	-.13	.01	.14	.06	-.04	-.16					
	.94	.90	.66	.77	.62	.54	.95	.50	.77	.85	.44						
Lyc	-	.77	.05	.59	.50	.29	.58	.31	.82	.24	-.05						
	.00	.82	.00	.01	.16	.00	.14	.00	.24	.83							
HMF	-	.10	.44	.40	.25	.45	.27	.56	.21	-.06							
	.65	.03	.05	.22	.03	.20	.00	.32	.79								
L*	-	.46	.76	-.81	.62	.81	-.05	.22	-.28								
	.02	.00	.00	.00	.00	.82	.29	.18									
a*	-	.79	-.48	.96	.48	-.70	-.27	-.19									
	.00	.01	.00	.02	.00	.20	.36										
b*	-	.89	.93	.91	-.59	-.12	-.29										
	.00	.00	.00	.00	.57	.16											
a*/b*	-	.69	-.99	.34	-.07	.25											
	.00	.00	.10	.73	.24												
C*	-	.69	-.70	-.22	-.25												
	.00	.00	.30	.23													
H°	-	.35	.06	-.27													
	.09	.78	.19														
PPH	-	.52	.20														
	.01	.33															
MIA	-	.59															
	.00																

r: Coeficiente de correlación

p: P (r_{obs} / r = 0)

r: Coeficiente de correlación

p: $P(r_{\text{obs}} / r = 0)$

Tabla 35. Resumen del análisis de componentes principales

	CP1	CP2	CP 3	CP 4	CP 5
Varianza ()	8.79	3.37	1.70	1.19	1.06
Proporción (%)	49	19	9	7	6
Acumulativo (%)	49	68	77	84	90
Desviación típica	2.965	1.837	1.302	1.091	1.030
Acidez total (Ac)	0.93	-0.34	-0.07	-0.02	-0.04
Sólidos totales (ST)	0.92	-0.33	0.10	-0.13	-0.04
Sólidos solubles (SS)	0.91	-0.34	0.15	-0.11	-0.04
Porcentaje de pulpa húmeda (PPH)	0.89	-0.28	-0.11	-0.02	0.11
Licopeno	0.86	-0.37	0.20	0.00	-0.19
HMF	0.70	-0.26	0.18	0.00	-0.34
C*	-0.88	-0.31	-0.01	-0.18	-0.27
Aw	-0.88	0.35	-0.19	0.09	-0.05
a*	-0.83	-0.11	0.00	-0.24	-0.41
b*	-0.83	-0.54	-0.02	-0.08	-0.07
L*	-0.35	-0.88	-0.09	-0.05	-0.11
a*/b*	0.59	0.74	0.09	-0.01	-0.10
H°	-0.61	-0.74	-0.07	0.05	0.14
Materia insoluble en alcohol (MIA)	0.37	-0.33	-0.79	-0.14	0.13
Total de sustancias pecticas (TSP)	0.23	0.29	-0.75	-0.40	0.17
pH	-0.28	0.29	0.36	-0.72	0.01
Ácido ascórbico (AA)	0.01	-0.21	0.37	-0.52	0.48
NaCl	-0.42	-0.25	0.27	0.30	0.57

Otro grupo de variables relacionadas con CP1 son C*, licopeno, a*, b*, y HMF. Estas variables son responsables del color, característica comercial muy importante. Como se aprecia en la **Figura 92**, es posible agrupar las muestras evaluadas por tipo de producto según los valores de la concentración de sólidos totales y sólidos solubles, y en menor grado a partir de licopeno y C*. Las muestras describen un incremento significativo en el contenido del licopeno en función del grado de elaboración. Esto se puede atribuir a la alta extracción del licopeno durante la desintegración térmica de los cromoplastos y la consecuente dilución del licopeno en la fase lipídica (**Anese y col., 2002; Periago y col., 2004 y Camacho y col., 2004**).

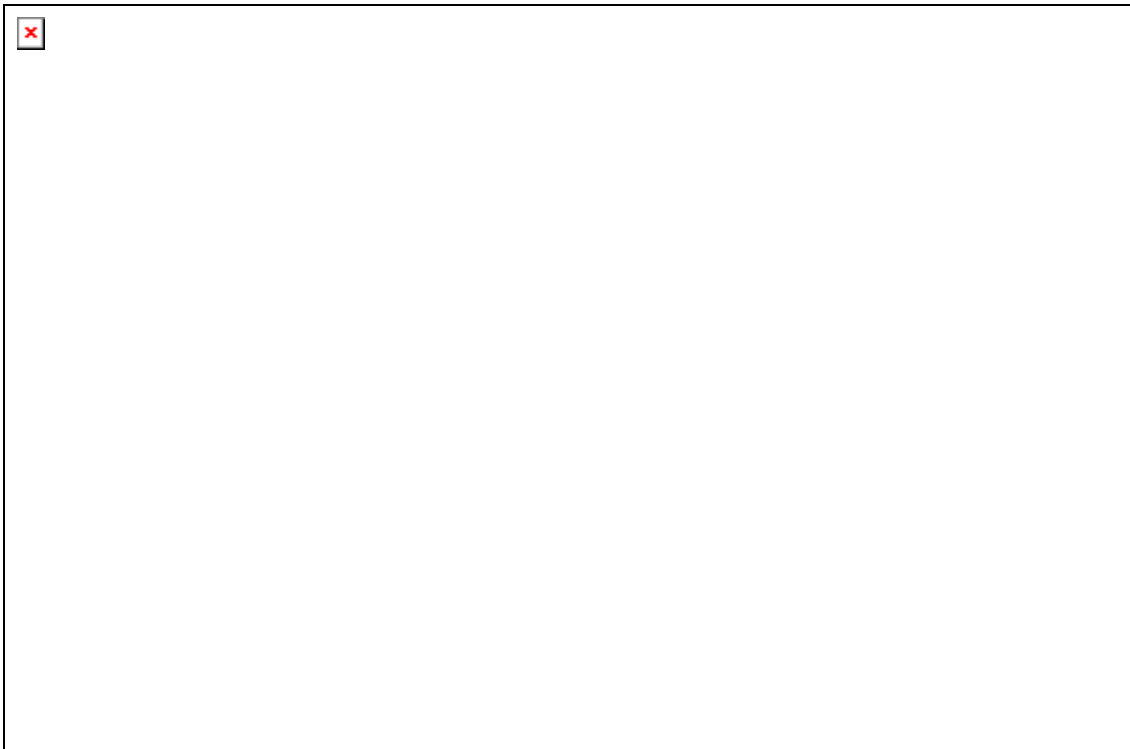


Figura 92. Diagramas de dispersión de las variables relacionadas con el primer componente principal

Unido a la alta extracción del licopeno se observa una reducción en los valores de la variable colorimétrica C^* (**Figura 92**). Es posible que la trans-cis isomerización del licopeno, promovida por el contacto con ácidos y tratamientos de calor (**Rodríguez-Amaya, 1999a y Shi y col., 1996**) disminuya el parámetro de color a^* y, en consecuencia, el valor de C^* . La progresiva isomeración cambia la absorción del espectro durante el procesado de los distintos productos de tomate (**Purcell y col., 1969; Noble, 1975 y Goula y Adamopoulos, 2005**).

Además, las reacciones de pardeamiento (Maillard y oxidación del ácido ascórbico), ocurridas durante el procesado térmico pueden afectar los parámetros de color a^* , b^* y C^* , durante el procesado de los productos de tomate (**Barreiro y col., 1997 e Intelmann y col., 2005**). Los valores de correlación altos de HMF obtenidos confirman este hecho. Igualmente, **Hidalgo y Pompei (2000)** han encontrado elevados niveles de HMF en productos de tomate con mayor grado de elaboración.

El segundo componente principal (CP2) presenta correlaciones altas con otros componentes del color como L^* , a^*/b^* y H° . Como se aprecia en la **Figura 93** estas variables no permiten diferenciar los tipos de productos.

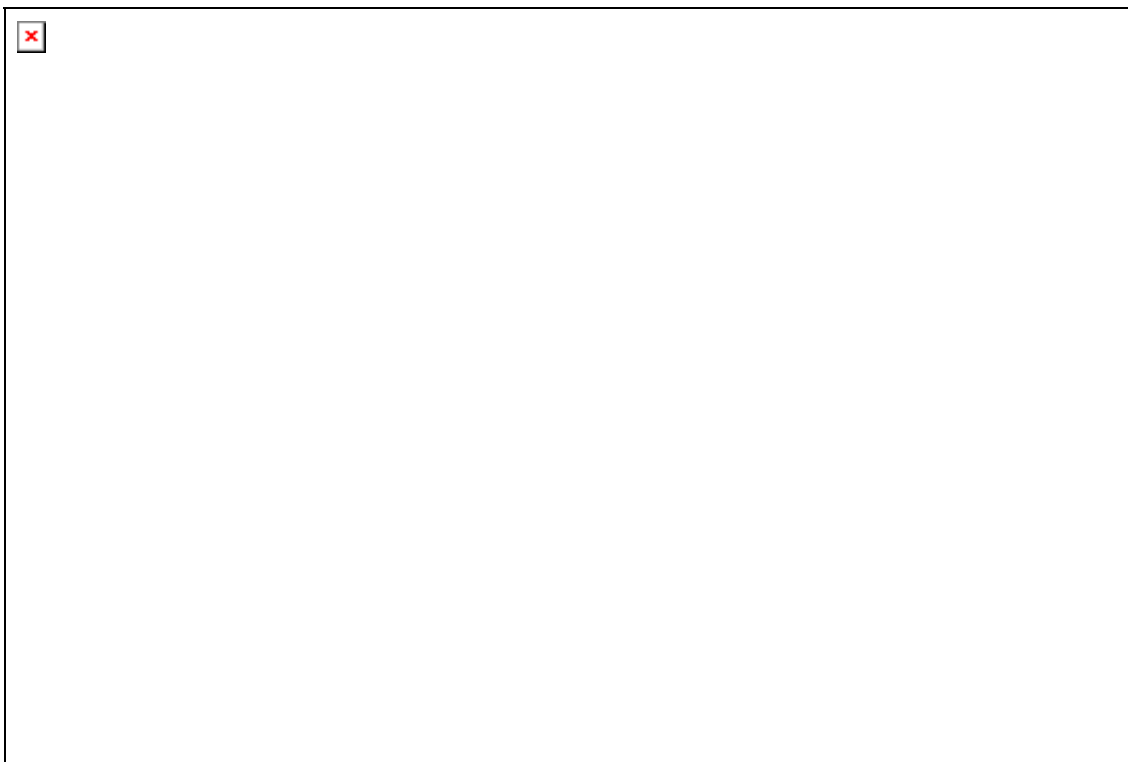


Figura 93. Diagrama de dispersión de las variables relacionadas con el segundo componente principal

El tercer componente principal (CP3) se relaciona con la consistencia del producto ya que se incluyen MIA y TSP, que presentan elevados coeficientes de correlación. Como se aprecia en la **Figura 94** estas variables tampoco permiten diferenciar los distintos tipos de productos. Ello puede ser debido a la variación de los procesos de manufactura en los diferentes productos: por ejemplo en operaciones críticas tales como triturado y tamizado, el solo hecho de modificar la temperatura de 70 a 90 °C, o el tamaño de poro en la criba de 0.8 a 1.5 mm, aumenta o reduce el contenido final de sólidos solubles e insolubles en los derivados de tomate (**Goodman y col., 2002; Valencia y col., 2002 y Sánchez y col., 2002**).

Durante el procesado térmico se presenta la despolimerización y la solubilización de las sustancias pécticas, especialmente a temperaturas mayores de 100 °C y valores de pH superiores a 4.0 (**Thakur y col., 1997 y Cámara y col., 1999**). Además una práctica utilizada por este tipo de industria es la incorporación de hidrocoloides con el objetivo de mantener la consistencia (**Sahin y Ozdemir, 2004**).

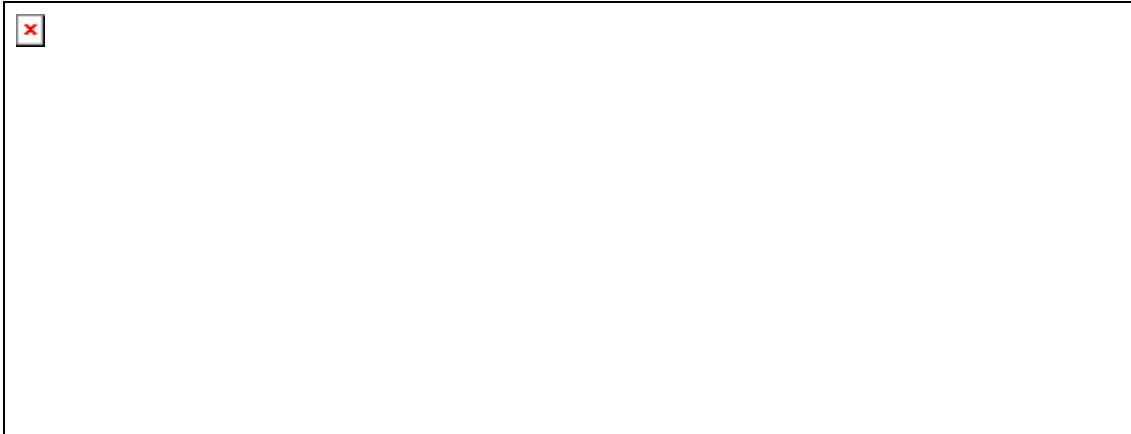


Figura 94. Diagrama de dispersión de las variables relacionadas con el tercer componente principal

El cuarto componente principal (CP4) solo explica un 7% de la inercia total, se asocia con la variable pH, cuya importancia tecnológica ya ha sido destacada, y en menor medida con el contenido de ácido ascórbico. Al igual que ocurre con el segundo y tercer componentes principal, las variables relacionadas con el cuarto no se asocian a los distintos tipos de producto, como se observa en la **Figura 95**. Las pérdidas del ácido ascórbico durante el tratamiento térmico y el posterior almacenamiento se deben principalmente a la oxidación de este ácido (**Dewanto y col., 2002**).

Algo parecido a lo que ocurre con el pH se da con el contenido en NaCl (**Figura 95**), variable correlacionada con el quinto componente principal, y que tiene un efecto importante sobre el sabor. La cantidad de sal añadida claramente dependerá de la formulación, por lo que es lógico que no esté asociada con las variables relacionadas con los primeros componentes (concentración, color y consistencia).

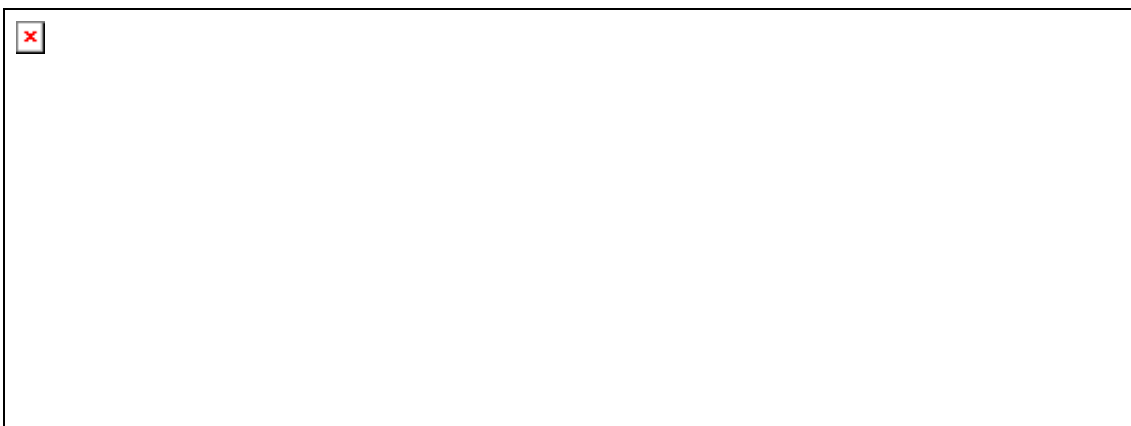


Figura 95. Diagrama de dispersión de las variables relacionadas con la cuarta y la quinta componentes principales

En la **Figura 96a** se representa el dendrograma de la clasificación ascendente jerárquica realizada sobre los cinco primeros componentes principales. El dendrograma permite clasificar acertadamente el 76% de los productos analizados. El conjunto de observaciones se puede dividir en principio en dos grupos A y B a una distancia de 31.71.

El grupo A incluiría los productos menos concentrados (tomate triturado y puré) y el grupo B los más concentrados (pastas, doble y triple concentrado). Haciendo una separación por clases a una distancia menor de 10.08 pueden obtenerse 4 clases (C1, C2, C3 y C4) que se representan en el primer plano factorial de la **Figura 96b**. Estas clases son bastante homogéneas y agrupan productos del mismo tipo. El grupo C1 contiene solo tomate triturado, productos de bajo grado de concentración. El grupo C2 incluye tomate triturado y puré, el grupo C3 contiene pasta de tomate con una relativa baja concentración y el C4 contiene pasta de tomate con alto grado de concentración, y doble y triple concentrado de tomate.



Figura 96. Dendrograma de la clasificación ascendente jerárquica realizada sobre CP1-CP5 (a) y representación de las observaciones sobre el primer plano factorial (b)

4.3.3 Selección de las variables físico-químicas que permitan clasificar los diferentes derivados de tomate

Del conjunto de las 18 variables estudiadas se pretende elegir un número reducido que permita describir y diferenciar apropiadamente los distintos productos y, por consiguiente, los diferentes niveles de procesado, dando prioridad a las de fácil y rápida determinación, para poder ser utilizadas en el proceso diario de elaboración.

Los sólidos solubles (SS) es una variable apropiada que representa el primer componente principal. La correlación de SS y CP1 es alta (0.91) (**Tabla 35**) y en la determinación de este parámetro se utiliza la medida directa proporcionada por un refractómetro. El componente de color L^* la variable más altamente correlacionada con CP2 (-0.88) (**Tabla 35**) y su medida también es sencilla.

El coeficiente de correlación de TSP y el tercer componente principal es de -0.75 (**Tabla 35**). El cuarto componente principal está asociado con la variable pH y el quinto componente principal está relacionado con el contenido de NaCl. La inercia explicada por estas dos variables es baja (7% y 6%) (**Tabla 35**), lo cual sugiere que no pueden ser consideradas como variables para discriminar los concentrados de tomate y monitorizar los procesos de producción.

La selección de las variables SS, L^* y TSP, explican el 77% del total de la varianza (**Tabla 35**). Las tres variables permiten obtener una nueva clasificación que es consistente con la clasificación obtenida anteriormente con los cinco componentes principales y las variables originales. Se ha empleado un valor negativo en L^* debido a que su correlación con CP2 es negativa, de esta manera se conserva la apariencia de los planos factoriales.

El resultado de la nueva clasificación se observa en la **Figura 97a**. El dendograma permite clasificar acertadamente el 84% de los productos analizados. Las observaciones también pueden dividirse en dos grupos. En el grupo A, productos de baja concentración: tomate triturado y puré y en el grupo B se encuentran los productos más concentrados, pasta, doble y triple concentrado de tomate. Sin embargo, la subsecuente subdivisión de estos dos grupos principales (N1, N2, N3 y N4 en la **Figura 97b**) no coincide exactamente con la obtenida en la primera clasificación: especialmente, como se observa en la **Figura 97b**, el tomate triturado (observación 2) se incluye en el grupo N1, diferente de la clasificación inicial donde se ubicaba en el grupo C2, mientras que la pasta de tomate (observación 17 y 18) y el doble concentrado de

tomate (observación 24), se incluyen en el grupo N3 a diferencia de la clasificación anterior que incluye estos productos en el grupo C4.

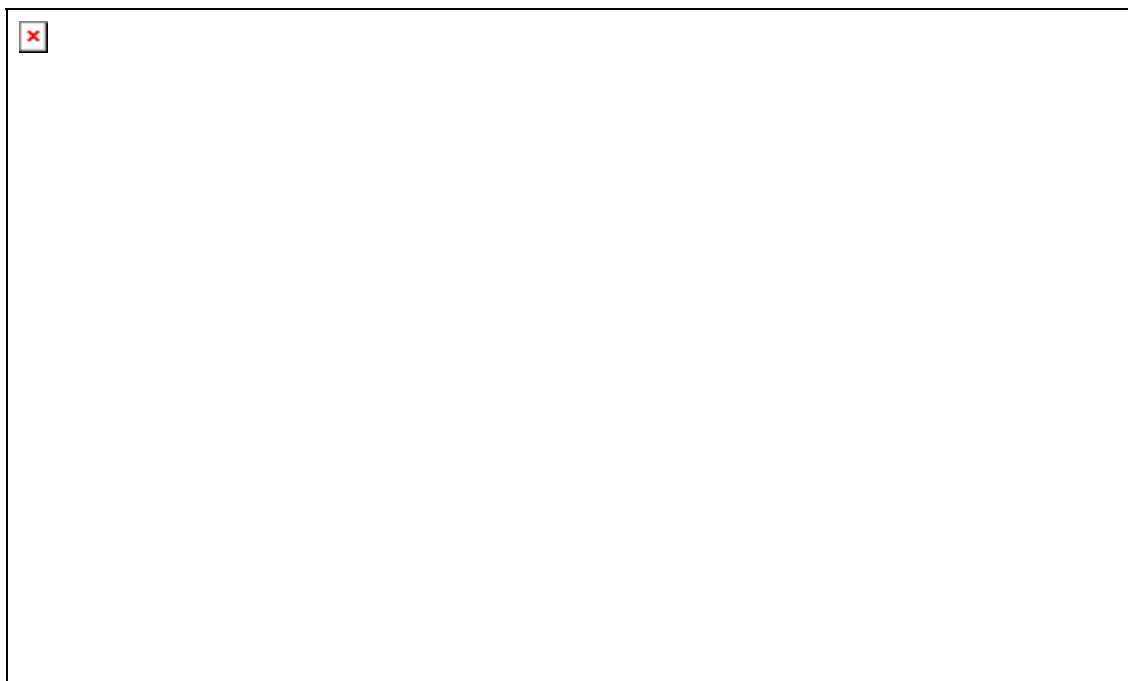


Figura 97. Dendrograma de la clasificación ascendente jerárquica realizada sobre las tres variables seleccionadas (a) y representación de las observaciones sobre el primer plano factorial (b).

Se puede concluir que, usando únicamente tres variables SS, L* y TSP, se clasifican las 25 muestras por el grado de elaboración, lo cual indica que es posible realizar el seguimiento del proceso de elaboración de los derivados de tomate.

CONCLUSIONES

TOMATE FRESCO

- La firmeza, la materia insolubles en alcohol (MIA), el total de sustancias pécticas (TSP), el Na, el Mg y el Se de las muestras de tomate analizadas no se ven afectadas por la variedad ni por el tipo de cultivo.
- La variedad influye en la mayor parte de las variables analizadas (peso, calibre, sólidos solubles, fructosa, glucosa, acidez total, pH, Aw, sólidos totales, cenizas, L^* , a^* , b^* , C^* , licopeno, β -caroteno, compuestos fenólicos totales, ácido oxálico, ácido málico, ácido ascórbico, ácido cítrico, ácido fumárico, K, Fe, Cu, Ca, Zn y Mn).
- El tipo de cultivo afecta únicamente a las variables sólidos totales, b^* , a^*/b^* , C^* , H° y glucosa en las tres variedades analizadas en este estudio. El nivel de fructosa es afectada por el cultivo sólo en Antillas y Lladó, peso, calibre y Mn en Lladó y los ácidos oxálico y ascórbico en Antillas. El cultivo ecológico presenta mayores valores de sólidos totales, b^* , C^* , H° , fructosa, glucosa, ácido ascórbico, Mn y en el cultivo convencional las variables de a^*/b^* , peso, calibre y ácido oxálico obtienen los mayores niveles.
- A nivel microscópico no se aprecian diferencias en los tejidos de la piel, pulpa y semilla del tomate en función del cultivo del cultivo y de la variedad, salvo en el contenido de licopeno que difiere en función de la variedad.
- El color $CIE_{L^*a^*b^*}$ no es una técnica válida para estimar la concentración de licopeno en las variedades comerciales de tomate Pitenza y Long life. Por el contrario, este pigmento se puede estimar a partir de los parámetros colorimétricos en las variedades Canario, Patrona, Caramba, Cherry y Antillas, tal como se refleja en los ajustes lineales obtenidos en este estudio.
- No se han obtenido unos buenos coeficientes de regresión entre la determinación de licopeno por HPLC y la estimación por microscopía óptica, salvo para los tomates procedentes de la variedad Canario.

TOMATE TRITURADO

- Se han estandarizado procesos de elaboración de tomate triturado siguiendo prácticas ecológicas y convencionales.
- Las diferencias encontradas en los tomates de partida (procedentes de cultivo ecológico y convencional) se mantienen, en general, tras la elaboración de los triturados de tomate. Además en los productos triturados existen diferencias debido a la materia prima en los parámetros de color $CIE_{L^*a^*b^*}$, sólidos solubles y PPH.
- El proceso de elaboración (ecológico o convencional) afecta únicamente al pH, la acidez total, el PPH, ácidos oxálico y málico y Fe.
- Aunque los productos obtenidos son estables en el tiempo, se observa que al aumentar el tiempo de almacenamiento las variables de PPH, MIA, TSP, fructosa, glucosa, ácido málico, ácido ascórbico y ácido cítrico disminuyen, mientras que el β -caroteno, compuestos fenólicos totales, ácido oxálico, ácido fumárico e HMF se incrementan.
- El HMF de los triturados de tomate elaborados está relacionado con los ácido málico ($r=-0.94$, $p<0.01$), ascórbico ($r=-0.90$, $p<0.01$) y cítrico ($r=-0.90$, $p<0.01$).
- El total de sustancias pécticas (TSP) de las conservas obtenidas está correlacionado con el PPH ($r=0.72$, $p<0.01$) y el ácido fumárico ($r=-0.77$, $p<0.01$).

CONSERVAS COMERCIALES

- Las características físico-químicas relacionadas con la concentración, el color y la consistencia son responsables del 89.50% de la variación en los productos evaluados en este estudio.
- Las variables físico-químicas de sólidos solubles, L^* y total de sustancias pécticas (TSP) permiten clasificar el 84% de las muestras comerciales, indicando que este número reducido de variables pueden ser utilizadas en el seguimiento del proceso de elaboración de los concentrados de tomate.

BIBLIOGRAFÍA

Abegaz, E.G., Tandon, K.S., Scott, J.W., Baldwin, E.A. and Shewfelt, R.L. (2004). Partitioning taste from aromatic flavour notes of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum*, Mill) to develop predictive models as a function of volatile and non-volatile components. *Postharvest Biology and Technology*, 34, 227-235.

Abushita, A.A., Hebshi, E.A., Daood, H.G. and Biacs, P.A. (1997). Determination of antioxidant vitamins in tomatoes. *Food Chemistry*, 60, 207-212.

Abushita, A.A., Daood, H.G. and Biacs, P.A. (2000). Changes in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 2075-2081.

Adedeji, O., Taiwo, K.A., Akanbi, C.T. and Ajani, R. (2006). Physicochemical properties of four tomato cultivars grown in Nigeria. *Journal of Food Processing and Preservation*, 30, 79-86.

Akanbi, C.T. and Oludemi, O. (2004). Effect of processing and packaging on the lycopene content of tomato products. *International Journal of Food Properties*, 7, 139-152.

Albert, V.M., Tomao, V., Olivier, C.P., Lacombe, J.M. and Dangles, O. (2006). Comparison of the anthocyanin composition during ripening of syrah grapes grown using organic or conventional agricultural practices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 5230-5235.

Aldanondo, A.M. (1999). Cultivo y producción de tomate en la Unión Europea y en España. En: Nuez, F. *El cultivo del tomate*. Madrid. Ed. Mundi-Prensa. Cap. 18, p. 696-740.

Al-Wandawi, H., Rahman, M.A. and Al Shaikly, K. (1985). Tomato processing as raw materials source. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 33, 804-807.

AMITOM (2004). Mediterranean International Association of the Processing Tomato. www.tomate.org/cadref.htm. Consultado en febrero 2005.

AMITOM (2005). Mediterranean International Association of the Processing Tomato. www.tomate.org/cadref.htm. Consultado en julio del 2006.

Anese, M., Falcone, P., Fogliano, V., Nicolini, M.C. and Massini, R. (2002). Effect of equivalent thermal treatments on the color and the antioxidant activity of tomato purees. *Journal of Food Science*, 67, 3442-3446.

Anese, M., Calligaris, S., Nicoli, M.C. and Massini, R. (2003). Influence of total solid concentration and temperature on the changes in redox potential of tomato paste. *International Journal of Food Science and Technology*, 38, 55-61.

Anthon, G.E. and Barrett, A.D. (2006). Characterization of the temperature activation of pectin methylesterase in green beans and tomatoes. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 54, 404-211.

Anthon, G.E. and Barrett, D.M. (2003). Thermal inactivation of lipoxygenase and hydroperoxytrieneic acid lyase in tomatoes. *Food Chemistry*, 81, 275-279.

Anttonen, M.J. and Karjalainen, R.O. (2006). High-Performance Liquid Chromatography analysis of black currant (*Ribes nigrum L.*) fruit phenolics grown either conventionally or organically. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 7530-7538.

Anza, M., Riga, P. and Garbisu, C. (2006). Effects of variety and growth season on the organoleptic and nutritional quality of hydroponically grown tomato. *Journal of Food Quality*, 29, 16-37.

Apaiyah, R., Goodman, C.L. and Barringer, S.A. (2001). Quality differences between fresh pack and remanufactured tomato sauce. *Journal of Food Processing Preservation*, 25, 431-445.

Arbones, M.E., Gómez, F.J. y Vázquez, A.E. (2001). Las instalaciones de aire comprimido en las industrias agroalimentarias. Lugo. Ed. Trylar. pp. 114.

Arias, R., Lee, T.C., Logendra, L. and Janes, H. (2000). Correlation of lycopene measured by HPLC with the L*, a*, b* color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 1697-1702.

Asami, D.K., Hong, Y.J., Barrett, D.M. and Mitchell, A.E. (2003). Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry, and corn grown using conventional, organic, and sustainable agricultural practices. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 57, 1277-1241.

Baldwin, E.A., Goodner, K., Plotto, A., Pritchett, K. and Einstein, M. (2004). Effect of volatiles and their concentration on perception of tomato descriptors. *Journal of Food Science*, 69, S310-S318.

Barba, E.M., López, M.D., Valverde, M., Sánchez, A. and Madrid, R. (2004). Calidad de variedades de tomate para industria. I. Parámetros químicos. *Agrícola Vergel*, diciembre, 608-613.

Barbosa-Canovas, G.V. and Juliano, P. (2004). Adaptation of classical process to new technical developments and quality requirements. *Journal of Food Science*, 69, E240-E250.

Barreiro, J.A., Milano, M. and Sandoval, A.J. (1997). Kinetic of colour of double concentrated tomato paste during thermal treatment. *Journal of Food Engineering*, 33, 359-371.

Barrett, D.M., Garcia, E. and Wayne, E. (1998). Textural modification of processing tomatoes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38, 173-258.

Barrett, DM. and Anthon, G. (2001). Lycopene content of California-grown tomato varieties. *Acta Horticulturae*, 542, 165-173.

Begum, S. and Brewer, M.S. (2001). Chemical nutritive and sensory characteristics of tomatoes before and after conventional and microwave blanching and during frozen storage. *Journal of Food Quality*, 24, 1-15.

Benal, B.P., Madalageri, M.B. and Rokhade, A.K. (2005). Physico chemical qualities of fruit of commercial tomato hybrids and varieties in Ghataprabha Lef Bank Command (GLBC) area processing into puree. *Journal of Food Science Technology*, 42, 8-11.

Beresovsky, N., Kopelman, I.J. and Misrahi, S. (1995). The role of pulp interparticle interaction in determining tomato juice viscosity. *Journal of Food Processing and Preservation*, 19, 133-146.

Bicanic, D., Swarts, J., Luterotti, S., Pietraperzia, G., Doka, O. and De Rooijm, H. (2004). Direct quantification of lycopene in products derived from thermally processed tomatoes: optothermal window as a selective, sensitive, and accurate analytical method without the need for preparatory steps. *Analytical Chemistry*, 76, 5203-5207.

Bicanic, D., Fogliano, V., Luterotti, S., Swarts, J., Piani, G., and Graziani, G. (2005). Quantification of lycopene in tomato products: comparing the performances of a newly proposed direct photothermal method and high-performance liquid chromatography. *Journal of the Science Food and Agriculture*, 85, 1149-1153.

Bizri, J.N. and Wahem, I.A. (1994). Citric acid and antimicrobials affect microbiological stability and quality of tomato juice. *Journal of Food Science*, 59, 130-134.

Board, P.W. (1989). *En Control de calidad en la elaboración de frutas y hortalizas.* Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (FAO), Roma. p. 31.

Bordeleau, G., Myers-Smith, Isla. and Szeremeta, A. (2002). Food quality: A comparison of organic and conventional fruit and vegetables. www.kursus.kvl.dk/shares/ea/03Projects/32gamle/_2002/FoodQualityFinal.pdf. Consultado en marzo 2006.

Bourn, D. and Prescott, J. (2002). A comparison o the nutritional value, sensory qualities, and food safety o organically and conventionally produced foods. *Critical Review in Food Science and Nutrition*, 42, 1-34.

Box, G.E.P, Hunter, W.G and Hunter, J.S. (2005). Diseños factoriales a dos niveles. En: G.E.P. Box. Estadística para investigadores, Introducción al diseño de experimentos, análisis de datos y construcción de modelos. Barcelona. Ed. Reverete Ediciones. Cap 10, p. 340-343.

Bramley, P.M. (2000). Molecules of interest: Is lycopene beneficial to human health?. *Phytochemistry*, 54, 233-236.

Bramley, P.M. (2002). Regulation of carotenoid formation during tomato fruit ripening and development. *Journal of Experimental Botany*, 53, 2107-2113.

Bucheli, P., Voirol, E., De la Torre, R, López, J., Rytz, A., Tanksley, S.D. and Pétiard V. (1999). Definition of nonvolatile markers for flavor of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as tools in selection and breeding. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 659-664.

Buedo, A.P., Elustondo, M.P. and Urbicain, M.J. (2001). Non-enzymatic browning of peach juice concentrates during storage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 1, 255-260.

Burruezo, A.R., Prohens, J., Rosello, S. and Nuez, F. (2005). Heirloom varieties as sources of variation for the improvement of fruit quality in greenhouse-grown tomatoes. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 80, 453-460.

Buttery, R.G., Teranishi, R. and Ling, L. (1997). Fresh tomato aroma volatiles: A quantitative study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 35, 540-544.

Cabibel, M., and Perry, P. (1980). Evolution de la teneur en carotenoides de la tomate en fonction des stades de maturation et des conditions culturales. *Annales de Technologie Agricole*, 29, 27-45.

Calligaris, S., Falcone, P. and Anese, M. (2002). Color changes of tomato purees during storage at freezing temperatures. *Journal of Food Science*, 67, 2432-2435.

Camacho, B., Álvarez, M., Alemán, R. and Álvarez, F. (2004). Efecto de la temperatura de secado sobre la degradación de carotenoides en frutos de coroba (*Jessenia polycarpa* Karst). *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 4, 206-210.

Cámara, M., Greeve, L. and Labavitch, J.M. (1999). Changes in tomato pectin characteristic during fruit processing for paste. *Acta Horticulturae*, 487, 457-460.

Cámara, H.M., Greve, I.C. and Labavitch, J.M. (2002). Changes in cell wall pectins accompanying tomato (*lycopersicon esculentum* Mill.) paste manufacture. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 50, 273-278.

Candogan, K. (2002). The effect of tomato paste on some quality characteristics of beef patties during refrigerated storage. *Europe Food Research Technology*, 215, 305-309.

Canene-Adams, K., Campbell, J.K., Zaripheh, S., Jeffery, E.H. and Erdman, J.W. (2005). The tomato as a functional food. American Society for Nutritional Sciences, 135, 1226-1230.

Capitini, R., Massantini, R. and Mencarelli, F. (2002). Qualitative and organoleptic comparison of biologically and conventionally grown fruits on the market. *Industrie Alimentari*, 41, 789-794.

Caputo, M., Sommella, M.G., Graciani, G., Giordano, I., Fogliano, V., Porta, R. and Mariniello, L. (2004). Antioxidant profiles of corbará small tomatoes during ripening and effects of aqueous extracts on j-774 cell antioxidant enzymes. *Journal of Food Biochemistry*, 28, 1-20.

Caradec, P.L., Nelson, P.E. and Takada, N. (1985). Tomato products: a new serum separation measurement. *Journal of Food Science*, 50, 1493-1494.

Carbonaro, M., Mattera, M., Nicol, S., Bergamo, P., and Cappelloni, M. (2002). Modulation of antioxidant compounds in organic vs conventional fruit (Peach, *Prunus persica* L., and Pear, *Pyrus communis* L.). *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 50, 5458-5462.

Caris-Veyrat, C., Amiot, M.J., Tyssandier, V., Grasselly, D., Buret, M., Mikolajczak, M., Guillard, J.C., Demange, C.B. and Borel, P. (2004). Influence of organic versus conventional agricultural practice on the antioxidant microconstituent content of tomatoes and derived purees; consequences on antioxidant plasma status in humans. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 52, 6503-6509.

Castaldo, D., Impembo, M., Laratta, Bruna., Villari, G., Giorgi, De., Fasanaro, G., De Sio, F. and Giovane, A. (1995). Preparation of high-consistency vegetables products: tomato pulps I. *Industria conserve*, 70, 119-127.

Caussiol, L.P. and Joyce, D.C. (2004). Characteristic of banana fruit nearby organic versus conventional plantations: A case study. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 79, 678-682.

Chamorro, L. (1999). Anatomía y fisiología de la planta. En: Nuez, F. *El cultivo del tomate* Madrid. Ed. Mundi-Prensa. Cap. 2, p. 44-91.

Chan, C.H., Lin, H.Y., Chang, C.Y. and Liu, Y.C. (2006). Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 77, 478-485.

Chen, H.H. and Ting, H.H. (2004). The development of a machine vision system for shiitake grading. *Journal of Food Quality*, 27, 352-365.

Clavero, S.R. (2001). Control of *Bacillus coagulans* and *Clostridium pasteurianum* in tomato products. *Acta Horticulturae*, 542, 75-81.

Codex Alimentarius. (1969). Código internacional de prácticas recomendado: principios generales de higiene de los alimentos. CAC/RPC 1-1969.

Codex Alimentarius. (2001). Alimentos producidos orgánicamente. Programa Conjunto FAO/OMS sobre las Normas Alimentarias, FAO, Roma. 77p.

CODEX STAN 57 (1981). Norma del Codex Alimentarius para los concentrados de tomates elaborados. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

Código Alimentario Español. (1967). Aprobado mediante Decreto 2484/1967, BOE 17 octubre a 23 1967, número 248 a 253.

Colla, G., Mitchell, J.P., Joyce, B.A., Huyck, L.M., Wallender, W.W., Temple, S.R., Hsiao, T.C. and Poudel, D.D. (2000). Soil physical properties and tomato yield and quality in alternative cropping systems. *Agronomy Journal*, 92, 924-932.

D'Souza, M.C., Singha, S. and Ingle, M. (1992). Lycopene concentration fruit can be estimated from cromaticity values. *Horticultural Science*, 27, 465-466.

Davis, A.R., Fish, W.W. and Perkins, V.P. (2003). A rapid spectrophotometric method for analyzing lycopene content in tomato and tomato products. *Posharvest Biology and Technology*, 28, 425-430.

De Sa, M. and Rodríguez-Amaya, D.B. (2003). Carotenoid composition of cooked green vegetables from restaurants. *Food Chemistry*, 83, 595-600.

De Sio, F., Dipollina, G., Villari, G., Loiudice, R., Larrata, B. and Castaldo, D. (1995). Thermal resistance of pectin methylesterase in tomato juice. *Food Chemistry*, 52, 135-138.

Den Ouden, F.W.C. and Vliet, V.T. (1997). Particle size distribution in tomato concentrate and effects on rheological properties. *Journal of Food Science*, 62, 565-567.

Dewanto, V., Wu, X., Adom, K.K. and Liu, R.H. (2002). Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 50, 3010-3014.

Dietz, J.M. and Gould, W.A. (1986). Effects of process stage and storage on retention of beta-carotene in tomato juice. *Journal of Food Science*, 51, 847-848.

Dixon, J.T. and Hobson, G.E. (1984). A general method for the instrumental assessment of the colour of tomato fruit during ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 35, 1277-1281.

Dumas, Y., Dadomo, M., Di Lucca, G. and Grolier, P. (2003). Review effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 369-382.

Edan, Y., Pasternak, H., Shmulevich, I., Rachmani, D., Guedalia, D., Grinberg, S. and Fallik, E. (1997). Color and firmness classification of fresh market tomatoes. *Journal of Food Science*, 62, 793-796.

Esquinas, A.J. y Nuez, V.F. (1999). Situación taxonómica, domesticación y difusión del tomate. En: Nuez, F. El cultivo del tomate. Madrid. Ed. Mundi-Prensa. Cap. 1, p.15-42.

Fanasca, S., Colla, G., Maiani, G., Venneria, E., Rouphael, Y., Azzini, E. and Saccardo, F. (2006). Changes in antioxidant content of tomato fruits in response to cultivar and nutrient solution composition. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 54, 4319-4325.

FAO (2006). Food and Agriculture Organization of the United Nations. "http://www.fao.org. Consultado en marzo 2006.

FAOSTAT (2006). http://faostat.fao.org/. Consultado en abril 2006.

FDA (1996). Tomato concentrates, http://www.cfsan.fda.gov/~lrd/FCF155.html. Consultado 17 de septiembre 2006.

Fernández, L. Casteillero, C. and Aguilera, J.M. (2005). An application of image analysis to dehydration of apple discs. Journal of Food Engineering, 67, 185-193.

Fleisher, D.D., Logendra, L.S., Moraru, C., Jan, B.A., Cavazzoni, J., Gianfagna, T., Lee, T.C. and Janes, H.W. (2006). Effect of temperature perturbations on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) quality and production scheduling. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 81, 125-131.

Flint, O. (1996). Microscopía de los alimentos, manual de métodos prácticos utilizando la microscopía óptica. Zaragoza. Ed. Acribia. pp.131.

Frazier, W.C. and Westhoff, D.C. (1993). En W.C. Frazier. Microbiología de los alimentos, 4 edición. Zaragoza. Ed. Acribia. pp 7.

Friedman, M. (2002). Reviews tomato glycoalkaloids: Roles in the plant and in the diet. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50, 5751-5780.

Gahler, S., Otto K. and Bohm, V. (2003). Alterations of vitamin C, total phenolics, and antioxidant capacity as affected by processing tomatoes to different products. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 51, 7962-7968.

Gajc, W.J., Skapski, H. and Szymczak, A. (2000). Physical and sensory characteristics of the fruit of eight cultivars of field grown tomato. Acta Physiologiae Plantarum, 22, 365-369.

García, A.M., Pascual, T.S., Santos, B.C. and Rivas, G.J. (2004). Evaluation of the antioxidant properties of fruits. Food Chemistry, 84, 13-18.

Garcia, E. and Barrett, (2006). Assessing lycopene content in California processing tomatoes. *Journal of Food Processing and Preservation*, 30, 56-70.

García-Closas, R., Berenguer, A., Termó, M.J., Sánchez, M.J., Quiros, J.R., Navarro, C., Arnaud, R., Dorronsoro, M., Chirlaque, M.D., Barricarte, A., Ardanaz, E., Amiano, P., Martínez, C., Agudo, A. and Gonzalez, C.A. (2004). Dietary sources of vitamin C, vitamin E and specific carotenoids in Spain. *British Journal of Nutrition*, 91, 1005-1011.

Gautier, H., Rocci, A., Buret, M., Grasselly, D. and Causse, M. (2005). Fruit load or fruit position alters response to temperature and subsequently cherry tomato quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 1009-1016.

George, B., Kaur, C., Khutdiya, D.S. and Kapoor, H.D. (2004). Antioxidants in tomato (*Lycopersicon esculentum*) as a function of genotype. *Food Chemistry*, 84, 45-51.

Ghezan, G. (1999). Trayectoria y demandas tecnológicas de las cadenas agroindustriales en el MERCOSUR: Hortalizas: tomate fresco y procesado. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

Giner, J., Grouberman, P., Gimeno, V. and Matín, O. (2005). Reduction of pectinesterase activity in a commercial enzyme preparation by pulsed electric fields: comparison of inactivation kinetic models. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 1613-1621.

Giovanelli, G., Lavelli, V., Peri, C. and Nobili, S. (1999). Variation in antioxidant components of tomato during vine and post-harvest ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79, 1583-1588.

Giovanelli, G. and Paradiso, A. (2002). Stability of dried and intermediate moisture tomato pulp during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 7277-7281.

Giovanelli, G. and Lavelli, V. (2002). Evaluation of heat and oxidative damage during storage of processed tomato products. I. Study of heat damage indices. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82, 1263-1267.

Global Organic Food (2005). <http://www.datamonitor.com>. Consultado en febrero del 2006.

Gómez, R., Costa, J., Amo, M., Alvarruiz, A., Picazo, M. and Pardo, J. (2001). Physicochemical and colorimetric evaluation of local varieties of tomato grown in SE Spain. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81, 1101-1105.

Goodman, C.L., Fawcett S. and Barringer, S.A. (2002). Flavor, viscosity, and color analyses of hot and cold break tomato juices. *Journal of Food Science*, 67, 404-408.

Goula, A.M. and Adamopoulos, K.G. (2005). Stability of lycopene during spray drying of tomato pulp. *LWT-Food Science and Technology*, 38, 479-487.

Guillen, S.A. (1998). Introducción a la neumática. Barcelona. Ed. Marcombo. pp. 156.

Guillou, L. and Sharpé, A. (2001). La agricultura ecológica. Comisión Europea Dirección General de Agricultura. pp.32.

Haakkinen, S.H. and Torronen, A.R. (2000) Content of flavonols and selected phenolic acids in strawberries and *Vaccinium* species: influence of cultivar, cultivation site and technique. *Food Research International*, 33, 517-524.

Hakala, M., Lapvetelainen, A., Huopalahti, R., Kallio, H. and Tahvonen, H. (2003). Effects of varieties and cultivation conditions on the composition of strawberries. *Journal of Food Composition and Analysis*, 16, 67-80.

Haley, T. and Smith, R.S. (2003). Evaluation of in-line absorption photometry to predict consistency of concentrated tomato products. *LWT-Food Science and Technology*, 36, 159-164.

Hanson, P.H., Yang, R., Wu, J., Chen, J., Ledesma, D. and Tsou, S. (2004). Variation for antioxidant activity and antioxidants in tomato. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 129, 704-711.

Harbers, L.H. (1994). Ash analysis. En: *Introduction to the chemical analysis of food*. Boston. Ed. Jones and Bartlett Publishers. Cap. 8. p. 113-135.

Hart, D.J. and Scott, K.J. (1995). Development and evaluation of an HPLC method for the analysis of carotenoids in foods, and the measurement of the carotenoid content of vegetables and fruits commonly consumed in the UK. *Food Chemistry*, 54, 101-111.

Hayes, W.A., Smith, P.G. and Morris, E.J. (1998). The production and quality of tomato concentrates. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38, 537-564.

Heeb, A., Lundeg, B., Ericsson, T. and Savage, G.P. (2005). Nitrogen form affects yield and taste of tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 1405-1414.

Hendrickx, M., Silva, C., Oliveira, F. and Tobback, P. (1993). Generalized (semi)-empirical formulae for optimal sterilization temperatures of conduction-heated food with infinite surface heat transfer coefficients. *Journal of Food Engineering*, 19, 141-158.

Hendrickx, M., Maesmans, G., De Cordt, S., Noronha, J. and Van Loey, A. (1995). Evaluation of the integrated time-temperature effect in thermal processing of foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 35, 231-262.

Hernández, A. and Cano, M.P. (1998). High-pressure and temperatures effects on enzyme inactivation in tomato puree. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 266-270.

Hetherington, M.J. and MacDougall, D.B. (1992). Optical properties and appearance characteristics of tomato fruit (*Lycopersicon esculentum*). Journal of the Science of Food and Agriculture, 59, 537-543.

Hidalgo, A. and Pompei, C. (2000). Hydroxymethylfurfural and furosine reaction kinetics in tomato products. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 48, 78-82.

Hobson, G.E., Adams, P. and Dixon, J.T. (1983). Assessing the colour of tomato fruit during ripening. Journal of the Science of Food and Agriculture, 34, 286-292.

Holden, J.M., Eldridge, A.L., Beecher, G.R., Buzzard, M., Bhagwat, S., Davis, C.S., Douglass, L.W., Gebhardt, E.S., Haytowitz, D. and Schakel, S. (1999). Carotenoid content of U.S. foods: an update of the database. Journal of Food Composition and Analysis, 12, 169-196.

Hoober, J.K. (1984). Carotenoid pigments. In: J.K. Hoober. Chloroplasts. New York. Ed. Plenum Press. Cap. 3, p. 57.

Hyman, J.R., Gaus, J. Foolad, M.R. (2004). A rapid and accurate method for estimating tomato lycopene content by measuring chromaticity values of fruit purée. Journal of the American Society for Horticultural Science, 717-723.

Ibarz, A. and Barbosa-Canovas, G.V. (2005). Procesado térmico de los alimentos. En: G.V. Barbosa-Canovas. Operaciones unitarias de la ingeniería de los alimentos. Madrid. Ed. Mundi-Prensa. Cap. 16, p. 505-546.

INFOAM (2006). International Federation of Organic Agriculture Movements. http://www.ifoam.org/press/press/Statistics_2006.html. Consultado en febrero 2006.

Intelmann, D., Jaros, D. and Rohm, H. (2005). Identification of color optima of commercial tomato catsup. European Food Research Technology, 221, 662–666.

ICBN (2000). International Code of Botanical Nomenclature (St Louis Code). Regnum Vegetabile 138. Koeltz Scientific Books, Königstein. ISBN 3-904144-22-7. <http://www.bgbm.fu-berlin.de/iapt/nomenclature/code/SaintLouis/0000St.Luistitle.htm>. Consultado en septiembre 2006.

Islam, S.M.D. and Khan, S. (2001). Seasonal fluctuations of carbohydrate accumulation and metabolism of three tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.) cultivars grown at seven sowing times. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 76, 764-770.

Jaya, S. and Das, H. (2005). Accelerated storage shelf life and colour of mango powder. Journal of Food Processing and Preservation, 29, 45-62.

Jones, J.B. (1999). Plant characteristics and physiology. In: J.B. Jones. Tomato plant culture In the field, greenhouse and home garden. Florida. Ed. CRC Press LLC. Cap. 2, p. 11-23.

Jones, J.B., Jones, J.P., Stall, R.E. and Zitter, T.A. (2001). Plagas y enfermedades del tomate. Madrid. Ed. Mundi Prensa. p. 1-4.

Jurgen, S.H. (1981). Conservación y otros tratamientos de los alimentos. En: S.H. Jurgen. Introducción a la higiene de los alimentos. Zaragoza. Ed. Acribia. Cap 4, p. 81-135.

Kadakal, C., Sebahattin, N. and Poyrazoglu, E.S. (2002). Effect of commercial processing stages of apple juice patulin, fumaric acid and hydroxymethylfurfural (HMF) levels. Journal of Food Quality, 25, 359-368.

Kalamaki, M.S., Harpster, M.H., Palys, J.M., Labavitch, J.M., Reid, D.S. and Brummell, D.A. (2003). Simultaneous transgenic suppression of Lepg and Leexpl influences rheological properties of juice and concentrates from a processing tomato variety. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51, 7456-7464.

Kalt, W. (2005). Effects of production and processing factors on major fruit and vegetable antioxidants. Journal of Food Science, 70, R11-R19.

Kaur, C. and Kapoor, H.C. (2001). Review: antioxidants in fruits and vegetables the millennium's health. International Journal of Food Science and Technology, 36, 703-725.

Khachik, F., Goli, M., Beecher, G.R., Holden, J.M., Lusby, W.R., Tenorio, M.D. and Barrera, M.R. (1992). Effect of food preparation on qualitative and quantitative distribution of major carotenoid constituents of tomatoes and several green vegetables. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 40, 390-398.

Kim, Y.J., Kim, D.O., Chun, O.K., Shin, D.H., Jung, H., Lee, C.Y. and Wilson, D.B. (2005). Phenolic extraction from apple peel by cellulases from thermobifida fusca. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 53, 9560-9565.

Kimura, M. and Rodríguez-Amaya, D.A. (2003). Carotenoid composition of hidroponic leafy vegetables. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 51, 2603-2607.

Kozukue, N. and Friedman, M. (2003). Tomatine, chlorophyll, β -carotene and lycopene content in tomatoes during growth and maturation. Journal of the Science of Food and Agriculture, 83, 195-200.

Krebbers, B., Matser, A.M., Hoogerwerf, S.W., Moezelaar, R., Tomassen, M.M. and Van den Berg, R.W. (2003). Combined high-pressure and thermal treatments for processing of tomato puree: evaluation of microbial inactivation and quality parameters. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 4, 377-385.

Kus, S., Gogus, F. and Eren, S. (2005). Hydroxymethyl furfural content of concentrated food products. *International Journal of Food Properties*, 8, 367-375.

Kuti, J.O. and Konuru, H.B. (2005). Effects of genotype and cultivation environment on lycopene content in red-ripe tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85, 2021-2026.

Lara, P.A.M. (2001). Diseño estadístico de experimentos, análisis de la varianza y temas relacionados. Tratamiento informático mediante SPSS. 2ª edición, Universidad de Granada. pp. 199.

Larrata, D., Loiudice, R., Giovane, A., Quagliuolo, L., Servillo, L. and Castaldo, D. (1995). Thermostability of three pectinesterase isoenzymes in tomato fruit. *Food Chemistry*, 52, 415-418.

Lavelli, V., Hippeli, S., Peri, C. and Elstner, E.F. (1999). Evaluation of radical scavenging activity of fresh and air-dried tomatoes by three model reactions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 3826–3831.

Lavelli, V. and Giovanelli, G. (2003). Evaluation of heat and oxidative damage during storage of processed tomato products II. Study of oxidative damage indices. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 966–971.

Lee, H.H., Bunn, J.M., Han, Y.J. and Christenbury, G.D. (1997). Ripening characteristics of light irradiated tomatoes. *Journal of Food Science*, 62, 138-159.

Lenz, M.K. and Lund, D.B. (1980) Experimental procedures for determining destruction kinetics of food components. *Food Technology*, 2, 51-55.

Leonardi, C., Ambrosino, P., Esposito, F. and Fogliano, V. (2000). Antioxidative activity and carotenoid and tomatine content in different typologies of fresh consumption tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 18, 1723-1727.

Leskova, E., Kubikova, J., Kovacikova, E., Kosicka, M., Porubska, J. and Holcikova, K. (2006). Vitamin losses: retention during heat treatment and continual changes expressed by mathematical models. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 252-276.

Lester, G.E. (2006). Organic versus conventionally grown produce: quality differences, and guidelines for comparison studies. *Horticultural Science*, 41 (2), 296-300.

Leth, T., Jakobsen, J. and Lyhne, A.N. (2000). The intake of carotenoids in Denmark. *European Journal of Lipid Science Technology*, 128-132.

Lietz, G. and Henry, C.J. (1997). A modified method to minimise losses of carotenoids and tocopherols during HPLC analysis of red palm oil. *Food Chemistry*, 60, 109-117.

Lin, C.H. and Chen, B.H. (2003) Determination of carotenoids in tomato juice by liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1012, 103-109.

Lin, C.H. and Chen, B.H. (2005a). Stability of carotenoid in tomato juice during processing. *European Food Research Technology*, 221, 247-280.

Lin, C.H. and Chen, B.H. (2005b) Stability of carotenoids in tomato juice during storage. *Food Chemistry*, 90, 837-846.

Lin, H., Koichi, A., Inakuma, T., Yamauchi, R. and Kato, K. (2005). Physical properties of water-soluble pectins in hot and cold-break tomato pastes. *Food Chemistry*, 93, 403-408.

Loiudice, R., Impembo, M., Laratta, B. Villari, G., Lo Voi, A., Siviero, P. and Castaldo, D. (1995). Composition of San Marzano tomato varieties. *Food Chemistry*, 53, 81-89.

Lombardi-Boccia, G., Lucarini, M., Lanzi, S., Aguzzi, A. and Cappelloni, M. (2004). Nutrients and antioxidant molecules in yellow plums (*Prunas domestica L.*) from conventional and organic productions: A comparative study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 90-94.

López, N.J.M. y Soler, M.A. (2004). Alimentos ecológicos. En: N.J.M. López, Nuevos alimentos para el siglo XXI. Murcia. Quaderna Editorial. 1ª edición. Cap. 5, p. 213-239.

López, J., Zajara, L. and Ordiales, E. (2006). El tomate en números. *Agricultura, revista Agropecuaria*, 881, 26-30.

Lugasi, A., Bíró, L., Hóvárie, J., Sági, K.V., Brandt, S. and Éva, B. (2003). Lycopene content of foods and lycopene intake in two groups of the Hungarian population. *Nutrition Research*, 23, 1035-1044.

Lule, U.S. and Xia, W. (2005). Food phenolics, pros and cons: A Review. *Food Reviews International*, 21, 367-388.

Lumpkin, H. (2005). A comparison of lycopene and other phytochemicals in tomatoes grown under conventional and organic management systems. Technical Bulletin No. 34. AVRDC publication number 05-623. Shanhua, Taiwan: AVRDC-The World Vegetable Center. 48pp.

Lund, D.B. (1977). Desing of thermal processes for maximizing nutrient retention. *Food Technology*, 2, 71-78.

Luthria, L.D., Mukhopadhyay, S. and Krizek, D.T. (2006). Content of total phenolics and phenolic acids in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruit as influenced by cultivar and solar UV radiation. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 771-777.

Madrid, R., Boronat, M. and Rosauero, C. (1998). Evaluación del color superficial de los frutos. Índice de madurez. *Agrícola Vergel*, abril, 210-218.

Mafart, P. (1994). Tratamientos térmicos. En: P. Mafart. Ingeniería industrial alimentaria, Vol I. Zaragoza. Ed. Acribia. Cap. 4, 81-131.

Maltini, E., Torreggiani, D., Venir, E. and Bertolo, G. (2003). Water activity and the reservation of lent foods. Food Chemistry, 82, 79-86.

Manso, M.C., Oliveira, F.A., Oliverira, J.C. and Frías, J.M. (2001). Modelling ascorbic acid thermal degradation and browning in orange juice under aerobic conditions. International Journal of Food Science and Technology, 36, 303-312.

MAPA (2005). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Agricultura ecológica en España. <http://www.mapa.es>. Consultado en septiembre del 2005.

MAPA (2006). <http://www.mapa.es/es/agricultura/pags/hechosyfiguras/cifras.htm>" Consultado en mayo del 2006.

Martinez, A.V. (2005). Diseño de una línea de elaboración de mermelada ecológica. Proyecto Fin de Carrera. Departamento de Química Analítica. Nutrición y Bromatología. Universidad de Santiago de Compostela.

Martynenko, A.I. (2006). Computer-vision system for control of drying processes. Drying Technology, 24, 879-888.

McCready, R.M. and McComp, E.A. (1952). Colorimetric determination of pectic substances. Analytical Chemistry, 24, 1630-1631.

Mejías, M.S. and López, N.J.M. (2006). Application of agglomerative hierarchical clustering to identify consumer tomato preferences: influence of physicochemical and sensory characteristics on consumer response. Journal of the Science of Food and Agriculture, 86, 493-499.

Mery, D. and Pedreschi, F. (2005). Segmentation of colour food images using a robust algorithm. Journal of Food Engineering, 66, 353-360.

Min, S. and Zhang, Q.H. (2003). Effect of commercial-scale pulsed electric field processing on flavour and color of tomato juice. Journal of Food Science, 68, 1600-1606.

Min, S., Jin, Z.T. and Zhang, Q.H. (2003). Commercial scale pulsed electric field processing of tomato juice. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 51, 3338-3344.

Miszkiewicz, H., Bizukojc, M., Roswandowicz, A. and Bielecki, S. (2004). Physiological properties and enzymatic activities of *Rhizopus oligosporus* in solid state fermentations. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, 7, 1-5.

Mohammed, M.M., Wilson, L.A. and Gomes, P.I. (1999). Postharvest sensory and physiochemical attributes of processing and nonprocessing tomato cultivars. Journal Food Quality, 22, 167-182.

Moraru, C., Logendra, L., Lee, T.C. and Janes, H. (2004). Characteristics of 10 processing tomato cultivars grown hidroponically for the NASA Advanced Life Support (ALS) Program. *Journal of Food Composition and Analysis*, 17, 141-154.

Muller, H. (1997). Determination of carotenoid content in selected vegetables and fruit by HPLC and photodiode array detection. *Z Lebensm Unters Forsch A*, 204, 88-94.

Naczki, M. and Shahidi, F. (2004). Extraction and analysis of phenolics in food. *Journal of Chromatography A*, 1054, 95-111.

Nguyen, M.L. and Schwartz, S.J. (1999). Lycopene: chemical and biological properties. *Food Technology*, 53, 38-45.

Nguyen M.L., Francis D., and Schwartz, S.J. (2001). Thermal isomerisation susceptibility of carotenoids in different tomato varieties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81, 910-917.

Noble, A.C. (1975). Investigation of the changes in heat concentrated tomato pulp. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 23, 48-49.

NOM-130-SSA1 (1995). Norma Oficial Mexicana. www.siea.sagarpa.gob.mx/. Consultado 17 de septiembre del 2006.

Norma de calidad para tomate fresco (1986). Tomate destinado al mercado interior. BOE 18 de enero de 1986, número 16.

Norma de Calidad para las Conservas Vegetales (1984). BOE 30 noviembre 1984 a 3 diciembre 1984, número 287 a 289; rectificado. BOE 10 enero 1985 y 12 enero 1985, número 9 y 11 y modificado BOE 20 febrero 1987, número 44.

Norma UNE 155102 (2005). Hortalizas frescas, producción controlada tomate. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Madrid.

Norma UNE 34009 (1957). Tomates. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Madrid.

Norma UNE 34019 (1975). Conservas de concentrados de tomate. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Madrid.

Norma UNE 34218 (1981). Productos derivados de verduras: determinación del contenido de cloruros. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Madrid.

Norma UNE 1550012 (2000). Hortalizas frescas, producción controlada tomate. Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Madrid.

Noronha, J., Hendrickx, A., Loey, V. and Tobback, P. (1995). New semi-empirical approach to handle time-variable boundary conditions during sterilization of non-conductive heating food. *Journal of Food Engineering*, 24, 249-268.

NTC 1287 (2004). Concentrado de tomate. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

Nunes, R.V., Swartzel, K.R. and Ollis, D.F. (1993). Thermal evaluation of food processes: the role of a reference temperature. *Journal of Food Engineering*, 20, 1-15.

Núñez, D.E., Sánchez, F.A., García, C.F. and López, N.J.M. (2005). Effect of organic farming practices on the level of latent polyphenol oxidase in grapes. *Journal of Food Science*, 70, C74-C78.

Ochoa, M.J. y Carravedo, M. (1999). Catalogo de semillas de tomates autóctonos, banco de germoplasma de plantas hortícola de Zaragoza. Zaragoza. Ed. Diputación General de Aragón: pp. 71.

O'Neill, M.E., Carroll, Y., Corridan, B., Olmedilla, B., Granado, F., Blanco, I., Van der Berg, H., Hininger, I., Rousell, A.M., Chopra, M., Southon, S. and Thurnham, D.I. (2001). A European carotenoid database to assess carotenoid intakes and its use in a five-country comparative study. *British Journal of Nutrition*, 85, 499-507.

Ordóñez, L.E. (2003). Tratamientos térmicos de conservación aplicados en la agroindustria. Palmira, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. pp. 137.

Osvald, J., Petrovic, N. and Demsar, J. (2001). Sugar and organic acid content of tomato fruit (*Lycopersicon lycopersicum* Mill.) grown on aeroponic at different plant density. *Acta Alimentaria*, 30, 53-61.

Pastur, G.M. (2001). Caracterización de pimentones de Murcia y la Vera. Influencia del envasado a vacío y en atmósferas modificadas sobre sus características físico-químicas. Tesis Doctoral, Universidad Santiago de Compostela. p. 24.

Pedro, A. and Ferreira, M. (2005). Nondestructive determination of solids and carotenoids in tomato products by near-infrared spectroscopy and multivariate calibration. *Analytical Chemistry*, 77, 2505-2511.

Pérez, R.C. (2000). Estudio de validación de la metodología para la determinación de vitamina A en los alimentos infantiles instantáneos por cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC). *Revista Medica Experimental*, 17, 1-4.

Periago, M.J., Rincon, F., Aguilera, M.D. and Ros, G. (2004). Mixture approach for optimizing lycopene extraction from tomato and tomato products. *Journal of Agricultural Food and Chemistry*, 52, 5796-5802.

Plaza, L., Muñoz, M., De Ancos, B. and Cano, M.P. (2003). Effect of combined treatments of high-pressure, citric acid and sodium chloride on quality parameters of tomato puree. *European Food Research Technology*, 216, 514-519.

Podsedek, A., Sosnowska, D. and Anders, B. (2003). Antioxidative capacity of tomato products. *Europe Food Reserch Technology*, 217, 296-300.

Porreta, S. (1991). Nonenzymtic browning of tomato products. *Food Chemistry*, 40, 323-335.

Porreta, S. and Sandei L. (1991). Determination of 5-(hidroxymethyl)-2-furfural (HMF) in Tomato products: Proposal of a rapid HPLC method and its comparison with the colorimetric method. *Food Chemistry*, 39, 51-57.

Porretta, S and Poli, G. (1993). Quality Evaluation of tomato pulp. *Food Chemistry*, 47, 379-386.

Porrini, M., Riso, P. and Testolin, G. (1998). Absorption of lycopene from single or daily portions of raw and processed tomato. *British Journal of Nutrition*, 80, 353-361.

Pruski, G.W. (2006). Digital imaging for evaluation of potato after-cooking darkening and its comparison with other methods. *International Journal of Food Science and Technology*, 41, 885-891.

Purcell, A.E., Walter, W.M. and Thompkins, M. (1969). Relationsship of vegetable color to physical state of the carotenes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 17, 41-42.

Raffo, A., La Malfa, G., Fogliano, V., Madani, G. and Quaglia, G. (2006). Seasonal variations in antioxidant components of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* cv. Naomi F1). *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 11-19.

Raigón, M.D., Alba, V., Carot, J.M., and Fernández, A. (2002). Caracterización de la calidad de nuevas variedades de tomate Cherry. *Agrícola Vergel*, abril, 188-200.

Rao, A.V., Waseem, A. and Agarwal, S. (1998). Lycopene content of tomatoes and tomato products and their contribution to dietary lycopene. *Food Research International*, 31, 737-741.

Re, R., Bramley, P.M. and Rice-Evans, C. (2002). Effects of food processing on flavonoids and lycopene status in a Mediterranean tomato variety. *Free Radical Research*, 36, 803-810.

Real Decreto 1852 (1993). Producción agrícola ecológica e indicaciones de la misma en los productos agrarios y alimentarios. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, BOE 26 de noviembre, número 283.

Real Decreto 2420 (1978). Reglamentación Técnico Sanitaria para la elaboración y venta de conservas vegetales. BOE 12 de octubre, número 244, rectificado BOE 8 noviembre 1978, número 267.

Reboul, E., Borel, P., Mikail, C., Abou L., Charbonnier C., Caris-Veyrat, C., Goupy, P., Portugal, H., Lairon, D. and Amiot M. J. (2003). Enrichment of tomato paste with 6% tomato peel increases lycopene and carotene bioavailability in men. *American Society for Nutritional Sciences*, 135, 790-794.

Reglamento (CE) 1764 (1986). Reglamento sobre requisitos de calidad mínimos para los productos a base de tomates que pueden beneficiarse de la ayuda en la Unión Europea. 27 de mayo de 1986. DOL 24 julio 1998, número 153.

Reglamento (CE) 2092 (1991). Consejo de 24 de junio, sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios. DOL 22 julio 1991, número 198.

Reglamento (CE) 790 (2000). Establece las normas de comercialización de los tomates. 14 de abril de 2000. DOL. 15 abril 2000 número 95, rectificado DOL 11 abril 2002, número 94.

Reglamento (CE) 717 (2001). Modifica el Reglamento (CE) 790 (2000) que fija las normas de comercialización aplicables a tomate. DOL. 11 abril de 2001, número 100.

Rembialkowska, E. (2003). Organic farming as system to provide better vegetable quality. *Acta Horticulturae*, 604, 473-477.

Renquist, A.R. and Reid, J.B. (1998). Quality of processing tomato (*Lycopersicon esculentum*) fruit from four bloom dates in relation to optimal harvest timing. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 26, 161-168.

Resnik, S. and Chirife, J. (1979). Effect of moisture content and temperature on some aspects of nonenzymatic browning in dehydrated apple. *Journal of Food Science*, 44, 601-605.

Riquelme, B.F. (1999). Postcosecha del tomate para consumo en fresco. En: Nuez, F. *El cultivo del tomate*. Madrid. Ed. Mundi-Prensa. Cap. 15, pp. 589-623.

Rodrigo, D., Jolie, R., Van Loey, A. and Hendrickx, A. (2006). Combined thermal and high pressure inactivation kinetics of tomato lipoxigenase. *European Food Research Technology*, 222, 636-642

Rodríguez, A. (1999). Manejo del cultivo extensivo para industria. En Nuez, F. *El cultivo del tomate*. Madrid. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. Cap. 8, 255-309, p. 255-309.

Rodríguez, A., Ballesteros, A., Ciruelos, A., Barreiros, J.M. and Latorre, A. (2001). Sensory evaluation of fresh tomato from conventional, integrated, and organic production. *Acta Horticulturae*, 542, 277-282.

Rodríguez-Amaya, D.B. (1999a). Changes in carotenoids during processing and storage of food. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 49, 38-47.

Rodríguez-Amaya, D.B. (1999b). Latin American food sources of carotenoid. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 49, 74-84.

Romero Rodríguez, A. (1991). Estudios de diferentes frutas como nuevas fuentes de alimentación. Tesis Doctoral. Departamento de Química Analítica y Bromatología. Universidad de Santiago de Compostela.

Rosello, S., Balaguer, L.G., Herrero, J.M., Maquieira, A. and Nuez, F. (2002). Simultaneous quantification of the main organic acids and carbohydrates involved in tomato flavour using capillary zone electrophoresis. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82, 1101-1106.

Ruelas, C., Tiznado, M.E., Sanchez, E.A., Robles, M.R. and Troncoso, R. (2006). Changes in phenolic acid content during *alternaria alternata* infection tomato fruit. *Journal Phytopathology*, 154, 236-244.

Ruíz, V.F., Sánchez-Mata, M.C., Cámara, M., Torija, M.E., Chaya, C., Balaguer, L.G., Rosello, S. and Nuez, F. (2004). Internal quality characterization of fresh tomato fruit. *Horticulturae Science*, 39, 339-345.

Ruíz, J.J., Martínez, N., Martínez, S.G. and Serrano, M. (2005). Micronutrient composition and quality characteristics of traditional tomato cultivars in Southeast Spain. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36, 649-660.

Saccani, G., Trifiro, A., Cortesi, A., Gherardi, S., Zenotti, A. and Montanari, A. (2001). Effects of production technology and storage conditions on the content of water-soluble vitamins in tomato purees. *Industria Conserve*, 76, 107-118.

Sadler, G, Davis J. and Dezman, D. (1990). Rapid extraction of lycopene and β -carotene from reconstituted tomato paste and pink grapefruit homogenates. *Journal of Food Science*, 55, 1960-1961.

Sahin, H. and Ozdemir, F. (2004). Effect of some hydrocolloids on the rheological properties of different formulated ketchups. *Food Hydrocolloids*, 18, 1015-1022.

Sahlin, E., Savage, G.P. and Lister, C.E. (2004). Investigation of the antioxidant properties of tomatoes after processing. *Journal of Food Composition and Analysis*, 17, 635-647.

Salles, C., Nicklau, S. and Septier, C. (2003). Determination and gustatory properties of taste-active compound in tomato juice. *Food Chemistry*, 81, 395-402.

San Martín, M.F., Barbosa-Cánovas, G.V. and Swanson, B.G. (2002). Food processing by high hydrostatic pressure. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 42, 627-645.

Sánchez, M. y Sanjuán, A.I. (2002). Estudio de las preferencias de consumidores y distribuidores especializados respecto del producto ecológico. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 2, 93-114.

Sánchez, M.C., Valencia, C., Gallegos, C., Ciruelos, A. and Latorre, A. (2002). Influence of processing on the rheological properties of tomato paste. *Journal of Food Science*, 82, 990-997.

Sandoval, A.J., Barreiro, J.A. and Mendoza, S. (1992). Thermal resistance of *Bacillus coagulans* in double concentrated tomato paste. *Journal of Food Science*, 57, 1369-1370.

Sandoval, A.J., Barreiro, J.A. and Mendoza S. (1994). Prediction of hot-fill-air-coll sterilization processes for tomato paste in glass jars. *Journals of Food Engineering*, 23, 33-50.

Scalfi, L., Fogliano, V., Petangelo, A., Graziani, G., Giordano, I. and Retiene, A. (2000). Antioxidant activity and general fruit characteristics in different ecotypes of corbarini small tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 1363-1366.

Senter, S.D., Horvat, R.J. and Forbus, W.R. (1988). Quantitative variation of total phenols in fresh market tomatoes at three stages of maturity. *Journal of Food Science*, 53, 639-640.

Serrano, N.A. (1997). Neumatica. Madrid. 2ª. Edicion. Ed. Paraninfo. pp. 160.

Shi, J., Maguer, M.L., Kakuda, Y., Liptay, A. and Niekamp, F. (1999). Lycopene degradation and isomerization in tomato dehydration. *Food Research International*, 32, 15-21.

Shi, J. (2000). Lycopene in tomatoes chemical and physical properties affected by food processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40, 1-42.

Shi, J., Le, M.L., Bryan, M. and Kukuda, Y. (2003). Kinetic of licopene degradation in tomato puree by heat and light irradiation. *Journal of Food Process Engineering*, 25, 485-498.

Siderer, Y., Maquet, A. and Anklam, E. (2006). Need for research to support consumer confidence in the growing organic food market. *Trends in Food Science and Technology*, 16, 332-343.

Simal, L.J. Lopez, H.J. y Vazquez-Oderiz. M.L. (1986). Contribución al estudio sobre el pimiento de Padron II Determinación de humedad técnicas de laboratorio, 132. 449-452.

Simpson, R., Cortes, C. and Texeira, A. (2006). Energy consumption in batch thermal processing: model development and validation. *Journal of Food Engineering*, 73, 217-224.

Singha, S., Baugher, T.A., Townsend, E.C. and D'Sousza, M.C. (1991). Anthocyanin distribution in 'Delicious' apples and the relationship between anthocyanin concentration and chromaticity values. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116, 497-499.

Singh, G.H., Sharma, A. and Singh, N. (2002). Effect of hydrocolloids, storage temperature, and duration on the consistency of tomato ketchup. *International Journal of Food Properties*, 5, 179-191.

Smirnoff, N. (1996). The function and metabolism of ascorbic acid in plants. *Anal of Botany*. 78, 661-669.

Smirnoff, N. and Wheeler, G.L. (1999). Ascorbic acid in plants: biosynthesis and function. *Critical Reviews in Plant Science*, 19, 267-290.

Soto, G. (2003). Agricultura orgánica una herramienta para el desarrollo rural sostenible y la reducción de la pobreza. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). pp. 115.

Spanos, G.A. and Wrolstad, R.A. (1990). Influence of processing and storage on the phenolic composition of Thompson seedless grape juice. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 38, 1565-1571.

Stoforos, N.G. and Reid, S.D. (1992). Factors influencing serum separation of tomato ketchup. *Journal of Food Science*, 57, 707-713.

Stommel, J., Abbott, J.A., Saftner, R.A. and Camp, M.J. (2005). Sensory and objective quality attributes of beta-carotene and lycopene-rich tomato fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 120, 244-251.

Sun, D.W. Brosnan, T. (2003a). Pizza quality evaluation using computer vision. Part 1 pizza and sauce spread. *Journal of Food Engineering*, 57, 81-89.

Sun, D.W. Brosnan, T. (2003b). Pizza quality evaluation using computer vision. Part 2 pizza topping analysis. *Journal of Food Engineering*, 57, 91-95.

Taiwo, K.A., Akanbu, C.T. and Ajibola, O.O. (1997). Establishing processing conditions for canning cowpea seed in tomato sauce. *International Journal of Food Science and Technology*, 32, 313-324.

Takada, N. and Nelson, P.E. (1983). Pectin-protein interaction in tomato products. *Journal of Food Science*, 48, 1408-1411.

Takeoka, G.R., Dao, L., Flessa, S., Gillespie, D.M., Jewell, W., Huebner, B., Bertow, D. and Ebeler, S.E. (2001). Processing effects on lycopene content and antioxidant activity of tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 3713-3717.

Tamburini, R., Sandei, L., Aldini, A., De, F. and Leoni, C. (1999). Effect of storage conditions on lycopene content in tomato purees obtained with different processing techniques. *Industria Conserve*, 74, 341-357.

Tanglertpaibul, T. and Rao, M.A. (1987). Flow properties of tomato concentrates: effect of serum viscosity and pulp content. *Journal and Food Science*, 52, 318-321.

Tangwongchai, R., Ledward, D.A. and Ames, J. (2000). Effect of High-Pressure treatment on the texture of cherry tomato. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 1434-1441.

Thakur, B.R., Singh, R.K. and Nelson, P.E. (1996). Quality attributes of processed tomato products: a review, *Food Review International*, 12, 375-401.

Thakur, B.R., Singh, R.K. and Nelson, P.E. (1997). Effect of pH and soluble solids on the serum viscosity and serum color of tomato juice at elevated temperatures. *Journal of Food Quality*, 20, 495-500.

Thompson, K.A., Marshall, M.R., Sims, C.A., Wei, C.I., Sargent, S.A. and Scott J.W. (2000). Cultivar, maturity, and heat treatment on lycopene content tomatoes. *Journal of Food Science*, 65, 791-795.

Tiziani, S. and Vodovotz, Y. (2004). Rheological effects of soy protein addition to tomato juice. *Food Hydrocolloids*, 19, 45-52.

TomatoNews (2006). The tomato processing industry information portal. <http://ns2862.ovh.net/~tomato/>. Consultado en julio del 2006.

Tonucci, L.H., Holden, J.M., Beecher, G.R., Khachik, F., Davis, C.S. and Mulokozi, G. (1995). Carotenoid content of thermally processed tomato-based food products. *Journal of Agricultural Food and Chemistry*, 43, 579-586.

Toor, R.K. and Savage, G.P. (2006). Effect of semi-drying on the antioxidant components of tomatoes. *Food Chemistry*, 94, 90-97.

Toor, R.K., Savage, G.P. and Heeb, A. (2006a). Influence of different types of fertilizers on the major antioxidant components of tomatoes. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 20-27.

Toor, R.K., Savage, G.P. and Lister, C.E. (2006b). Seasonal variations in the antioxidant composition of greenhouse grown tomatoes. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19 1-10.

Tuzel, Y., Oztekin, G.B., Ongun, A.R., Gumus, M., Tuzel, I.H. and Eltez, R.Z. (2004). Organic tomato production in the greenhouse. *Acta Horticulturae*, 659, 729-732.

USDA (1977). United States Standards for Grades of Canned Tomato Paste. United States Department of Agriculture.

USDA (1978). United States Standards for Grades of Canned Tomato Puree (Tomato Pulp). United States Department of Agriculture.

USDA (2004). <http://www.fas.usda.gov/scripts/attacherep/default.asp>. Consultado en febrero del 2005.

USDA (2005). National Nutrient Database for Standard Reference, Release 18. <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/Data/SR17/reports/sr17fg11.pdf>. Consultada, en noviembre 2005.

Valencia, C., Sánchez, M.C., Ciruelos, A., Latorre, A., Franco, J.M. and Gallegos, C. (2002). Linear viscoelasticity of tomato sauce products: influence of previous tomato paste processing. *European Food Research and Technology*, 214, 394-399.

Valverde, C.V., Perez, L.M. and Rojas, H.E. (1983). Pectic substances in raw and cooked fresh or processed Spanish vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 31, 949-953.

Valverde, I.M., Periago, M.J., Provan, G. and Chesson, C. (2002). Phenolic compounds lycopene and antioxidant activity in commercial varieties of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82, 323-330.

Vashista, A., Kawatra, A. and Sehgal, S. (2003). Effect of storage time and preservatives on vitamin and pigment contents of canned tomato soup. *Plant Food for Human Nutrition*, 58, 1-6.

Vazquez-Blanco, M.E., Vazquez-Oderiz, M.L., López Hernández, J., Simal Lozano, J. and Romero Rodríguez, M.A. (1993). HPLC determination of pectins in raspberries as galacturonic acid and optimization using forward optical scanning. *Journal of Chromatographic Science*, 31, 477-479.

Vazquez-Blanco, M.E. (1994). Estudio de componentes en *Phaseolus vulgaris*. L. Tesis Doctoral. Departamento de Química Analítica. Nutrición y Bromatología. Universidad de Santiago de Compostela.

Vazquez-Oderiz, M.L., Vazquez Blanco, M.E., Lopez Hernandez, J., Simal Lozano, J. and Romero Rodríguez, M.A. (1994). Simultaneous determination of organic acids and vitamin C in green beans by liquid chromatography. *Journal of AOAC Internacional*, 77, 1056-1059.

Vecchio, F.A., Armbruster, G. and Lisk, D.J. (1984). Quality characteristics of New Yorker and Heinz 1350 tomatoes grown in soil amended with a municipal sewage sludge. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 32, 364-368.

Velioglu, Y.S., Mazza, G., Gao, L. and Oomah, B.D. (1998). Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits vegetables and grain products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 4113-4117.

Vieira, M.C., Teixeira, A.A. and Silva, C.L.M. (2000). Mathematical modelling of the thermal degradation kinetic of vitamin C in cupuacu (*Theobroma grandiflorum*) nectar. *Journal of Food Engineering*, 43, 1-7.

Viljanen, K., Sundberg, S., Ohshima, T. and Heinonen, M. (2002). Carotenoids as antioxidants to prevent photooxidation. *European Journal Lipid Science Technology*, 104, 353-359.

Wheeler, G.L., Jones, M.A. and Smirnoff, N. (1998). The biosynthetic pastway of vitamin C in higher plants. *Nature*, 393, 365-369.

Wiese, K.L. and Dalmasso, J.P. (1994). Relationships of color, viscosity, organic acid profiles and ascorbic acid content to addition of organic acids and salt in tomato juice. *Journal of Food Quality*, 17, 273-284.

Willcox, J.K., Catignani, G.L. and Lazarus, S. (2003). Tomatoes and cardiovascular health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 43, 1-18.

Woese, K., Lange, D., Boess, C. and Bo, K.W. (1997). A comparison of organically and conventionally grown foods ó results of a review of the relevant literature. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 74, 281-293.

Wold, A.B., Rosenfeld, H.J., Holte, K., Baugerod, H., Blomhoff, R. and Haffner, K. (2004). Colour of post-harvest ripened and vine ripened tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as related to total antioxidant capacity and chemical composition. *International Journal of Food Science and Technology*, 39, 295-302.

Wolfrom, M.L., Kashimura, N. and Horton, D. (1974). Factors affecting the maillards browning reaction between sugars and amino acids studies on the nonenzymic browning of dehydrated orange juice. *Journal of Agricultural Food and Chemistry*, 22, 796-800.

Worthington, V. (2001). Nutritional quality of organic versus conventional fruit, vegetables, and grains. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 7, 161-173.

WPTC (2004). Word processing Tomato Council. <http://www.wptc.to>. Consultado en febrero 2005.

Xu, S.Y, Shoemaker, C.F, and Luh, B.S. (1986). Effect of break temperature on rheological properties and microstructure of tomato juice and pastes. *Journal of Food Science*, 51, 399-407.

Yahia, E.M., Contreras, P.M. and Gonzalez, A.G. (2001). Ascorbic acid content in relation to ascorbic acidoxidase activity and polyamine content in tomato and bell pepper fruits during development, maturation and senescence. *LWT-Food Science and Technology*, 34, 452-457.

Yam, K.L. and Papadakis, S.E. (2004). A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food surfaces. *Journal of Food Engineering*, 61, 137-142.

Yıldız, H. and Baysal, T. (2006). Effects of alternative current heating treatment on *Aspergillus niger*, pectin methylesterase and pectin content in tomato. *Journal of Food Engineering*, 75, 327–332.

Yoo, B. and Rao, M.A. (1995). Yield stress and relative viscosity of tomato concentrates: effect of total solids and finisher screen size. *Journal of Food Science*, 60, 777-785.

Yu, H. and MacGregor, J.F. (2003). Digital imaging for online monitoring and control of industrial snack food processes. *Industrial Engineering Research*, 42, 3036-3044.

Zanotti, G, Sandei, L. and Leoni, C. (2001). Influence of packing material on the maintenance of lycopene content and colour in strained tomatoes. *Industria Conserve*, 76, 5-20.

ANEXOS

